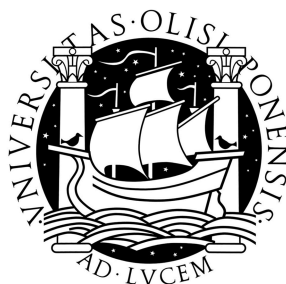


UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOQUÍMICA



**Optimização dos parâmetros da linha de
desengorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para
sensores de estacionamento**

Ana Margarida Piedade Lopes

Mestrado em Química Tecnológica

Química Tecnológica e Qualidade

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOQUÍMICA



**Optimização dos parâmetros da linha de
desengorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para
sensores de estacionamento**

Ana Margarida Piedade Lopes

Mestrado em Química Tecnológica

Dissertação orientada pela Prof.^a Doutora Maria Isabel Pereira e acompanhada pelo
Dr. Pedro José Vaz Nunes Alves (Responsável pela Engenharia da
Caetano Coatings, S.A.)

2011



Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos professores que me acompanharam desde o início da licenciatura até ao final do mestrado, contribuindo para a minha evolução profissional e até pessoal. Aos meus orientadores pela oportunidade de trabalhar neste projecto, pela sua ajuda e pela sua disponibilidade.

Também gostaria de agradecer à empresa Caetano Coatings, S.A., em especial ao pessoal do laboratório, dos escritórios e das linhas, pela óptima recepção e por todo o auxílio que me prestaram durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas, pelo apoio, companhia e ajuda que me deram e principalmente por estarem presentes nos momentos mais difíceis.

E por fim, mas não por último, à minha família e ao meu namorado. Por me terem acompanhado desde o início e pelo apoio incondicional tanto nos bons e maus momentos ao longo do meu percurso académico e porque sem eles nada faria sentido.

Resumo

Optimização dos parâmetros da linha de desgorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de estacionamento

O trabalho realizado durante o período de dissertação de mestrado, teve como objectivo o estudo e a optimização dos parâmetros de uma linha de desgorduramento e desoxidação de membranas de alumínio para os sensores de estacionamento na Caetano Coatings, S.A. Este trabalho foi dividido em três partes, na primeira parte foi feita uma optimização dos parâmetros (tempo de estágio e concentração dos banhos) da linha destinada ao tratamento dessas peças; a segunda parte consistiu em estudar o comportamento dessas peças nos pré-tratamentos das outras linhas (linha 1, 2 e 4) e a terceira parte foi proceder à pintura por cataforese das peças que sofreram os diferentes pré-tratamentos.

A avaliação do pré-tratamento e da pintura em si foi realizada através de ensaios de laboratório baseados em normas internacionais e que são exigidos pelo cliente. Esses ensaios laboratoriais permitiram caracterizar o revestimento física e morfológicamente (observação visual, determinação da espessura de película seca e aderência pelo método da quadrícula) e avaliar o seu desempenho anti-corrosivo (resistência à condensação e humidade constante, resistência ao nevoeiro salino e resistência ao ensaio fervente). Procedeu-se também ao estudo dos defeitos-tipo, presentes na película obtida por cataforese. Efectuou-se uma breve descrição de cada um, averiguou-se quais as suas possíveis causas e soluções.

Por último, foi realizado um estudo a nível ambiental e económico dos produtos utilizados no pré-tratamento das linhas estudadas. Relativamente ao nível ambiental, a tecnologia da cataforese é uma tecnologia limpa. Os banhos de pré-tratamento são mais preocupantes a nível ambiental, apesar de se estar a fazer progressos no que diz respeito à protecção ambiental.

Segundo os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos revestimentos realizados conclui-se que os esquemas 2, 14 e 16 são os que possuem as melhores condições de operação para o pré-tratamento do processo em estudo.

Palavras-chave: Peças em alumínio, corrosão, pré-tratamento, revestimentos, ensaios laboratoriais

Abstract

Optimization of parameters of the degreasing/pickling line for aluminum membranes for parking sensors

The work done during this master's thesis, aimed to study and optimize the parameters of a line of degreasing and etching of aluminum membrane for parking sensors in Caetano Coatings, S.A. The work was divided into three phases. In the first one an optimization of the parameters (runtime and concentration of the baths) of the line dedicated to the treatment of aluminum membranes. During the second phase a study of the behavior of these pieces in the pre-treatment of other lines (lines 1, 2 and 4) was performed. Finally in the third phase the aluminum membranes that have been subject of different pretreatments were painted by electro-coat.

The evaluation of the pretreatment and painting itself was done through laboratory trials based on international standards which are required by the customer. These laboratory trials led us to characterize the coating morphology and physically (visual observation, determination of the dry film thickness and adherence by the method of the cross hatch test) and to assess its anti-corrosive performance (resistance to humidity and condensation constant, resistance to salt spray test and resistance to boiling test). It was also studied the typical painting defects of electro-coating. A brief description of each one has been done and find the possible causes and the respective solutions were attempted.

Finally, an environmental and economic study was done based on the products that were used in the pretreatment of the lines studied. Regarding environmental aspects, electro-coat's technology is a clean technology. The pretreatment baths are the more environmentally concern, although efforts are been done in order to meet environmental protection.

According to the results obtained from tests for the coatings characterization it can conclude that the schemes 2, 14 and 16 are those with the best operating conditions for the pre-treatment process under study.

Keywords: Aluminum parts, corrosion, pretreatment, coatings, laboratory trials

1. Caetano Coatings

A Caetano Coatings é uma empresa que foi criada a partir de uma importante Unidade de Tratamento de Superfícies do Grupo Salvador Caetano, em 1991, com sede no Carregado. Iniciou a sua actividade nas áreas da pintura e tratamento de superfícies especializado em componentes automóveis (Divisão Automotiva), e na reparação e protecção de betão, impermeabilização e outros revestimentos técnicos especiais (DPAB - Divisão de Protecção de Aço e Betão).^[1]

Actualmente, a empresa Caetano Coatings já não se encontra no Grupo Salvador Caetano, sendo uma empresa totalmente independente.



Figura 1 - Instalações da Caetano Coatings, no Carregado.

Fonte: Adaptado do Manual de Acolhimento da Caetano Coatings de 2007 (http://www.caetanocoatings.pt/flash_content/pdfs_caetano_coatings/manual_acolhimento/Manual_Acolhimento_CC.pdf, acedido em 29 de Novembro de 2010)

1.1. Divisão Automotiva

A Divisão Automotiva tem registado um crescimento através de diferentes tecnologias de pintura: pintura líquida, pintura pó acrílico, pintura a pó e pintura cataforese. Nesta divisão também está incluída a decapagem e o laboratório, que funciona de acordo com as normas do ramo automóvel.^[1]

A Divisão Automotive possui cinco linhas de pintura, que se dividem em duas linhas destinadas à pintura a pó, duas linhas destinadas à pintura líquida e uma linha de electrodeposição catódica. Possui ainda uma linha de decapagem e uma linha de desgorduramento/desoxidação.^[1]

1.1.1. Pintura Líquida

A instalação para a pintura líquida possui uma área coberta de 7.050 m² e foi projectada para pintura de peças metálicas e de plástico, para a indústria automóvel. Com uma capacidade de pintura de 2,5 milhões peças/ano, esta linha robotizada está preparada para pintar peças com diferentes tintas: primário, base e verniz, com uma variada gama de cores, incluindo peças à cor do automóvel.^[1]

Possui um túnel de pré-tratamento em que as peças de plástico recebem uma limpeza através do desgorduramento e das lavagens e em que as peças de alumínio, além de receberem também essa limpeza, recebem um pré-tratamento químico à base de silanos num estágio adicional. É este estágio que irá fornecer à peça uma camada protectora da corrosão e promover a aderência do revestimento à peça.

1.1.2. Pintura a Pó

A instalação para a pintura a pó possui uma área coberta de 3.500 m². Esta instalação é completamente robotizada e foi projectada para pintar materiais de alumínio e ferro, possuindo 2 túneis de pré-tratamentos químicos isento de crómio à base de silanos.^[1]

É possível a aplicação de pós de diferentes cores, por exemplo, poliésteres até mesmo primários para posteriores pinturas líquidas.

1.1.3. Decapagem

Esta linha foi projectada para tratar/decapar uma grande variedade de materiais, desde uma simples decapagem de bastidores, até peças rejeitadas pelo

processo de pintura e bastidores complexos. As instalações de decapagem oferecem um vasto leque de distintos processos de modo a assegurar que a melhor solução técnica/económica é encontrada. Existe a possibilidade de escolher desde a decapagem em fornos de pirólise até à decapagem química automática: linha de imersão e linha de aspersão.^[1]

A decapagem química é realizada tanto em substratos ferrosos como em não ferrosos e pode ser realizada de duas formas. Numa, os materiais a decapar passam por várias tinas de imersão e por último por um túnel de aspersão. Na outra passam por várias máquinas de decapagem.

Os fornos de pirólise destinam-se à limpeza de bastidores utilizados nas diversas linhas da empresa e de material de empresas externas. Neste processo, o material a decapar é aquecido a 450 °C, temperatura à qual a tinta vaporiza. Depois de o material arrefecer, este é lavado com água industrial de modo a remover os restos de tinta. Todos os gases gerados pelos fornos de pirólise sofrem uma queima a 1000 °C e depois são conduzidos para um *scrubber* (lavador de gases).

1.1.4. Cataforese

Com uma área coberta de 3.000 m², esta foi desenvolvida em parceria com a *PPG* e *Chemetall*, duas empresas líderes de mercado nas suas actividades. Esta linha de pintura por cataforese foi projectada para a indústria automóvel e é constituída por um túnel de pré-tratamento misto (aspersão e imersão). O pré-tratamento químico desta linha é a fosfatação.^[1]

Este processo é muito versátil para pintura de superfícies complexas de revestimento, as quais não podem ser revestidas a pintura a pó ou líquida.^[1]

1.1.5. Linha de desgorduramento/desoxidação

Esta linha destina-se exclusivamente para garantir o desgorduramento e desoxidação do interior das membranas de alumínio para sensores de estacionamento. Esta linha é uma linha totalmente automatizada.

O principal objectivo deste desengorduramento é a remoção de gorduras e óleos que possam existir no interior e/ou exterior das membranas. O da desoxidação, onde ocorre um ataque do alumínio, consiste na preparação da superfície por forma a proporcionar uma melhor aderência.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	viii
1. Caetano Coatings	xi
1.1. Divisão Automotive.....	xi
1.1.1. Pintura Líquida.....	xii
1.1.2. Pintura a Pó	xii
1.1.3. Decapagem	xii
1.1.4. Cataforese.....	xiii
1.1.5. Linha de desengorduramento/desoxidação	xiii
Índice	xv
Índice de figuras.....	xix
Índice de tabelas.....	xxiii
Lista de abreviaturas e siglas	xxvi
2. Introdução	1
3. Fundamentos Teóricos	2
3.1. Corrosão de materiais	2
3.2. Tipos de corrosão	4
3.2.1. Corrosão electroquímica	4
Mecanismo electroquímico de corrosão	4
3.2.2. Corrosão galvânica.....	6
3.2.3. Corrosão electrolítica	6
3.2.4. Corrosão química	7
3.3. Formas de corrosão.....	7
3.4. Principais meios corrosivos.....	12

3.4.1.	Comportamento de um metal num meio corrosivo.....	13
3.5.	Os efeitos e os impactos económicos da corrosão.....	14
3.6.	Medidas e métodos de prevenção e controlo da corrosão	16
3.7.	Corrosão Automóvel	17
3.7.1.	A acção das atmosferas	17
3.7.2.	Principais tipos de corrosão envolvidos.....	19
3.8.	Metais utilizados na indústria automóvel	20
3.9.	Preparação de superfícies	21
3.9.1.	Pré-tratamento multimetal de carroçarias de automóveis	21
3.9.2.	Condições/Contaminações de Superfícies	22
3.9.3.	Processo de pré-tratamento	22
	Desengorduramento	23
	Desoxidação.....	24
	Activação	25
	Fosfatação de zinco.....	25
	Passivação	29
	Silanos.....	30
3.10.	Pintura e Revestimentos.....	33
3.11.	Princípios da protecção contra a corrosão	34
3.11.1.	Teoria de Adesão	35
3.11.2.	Ligação mecânica	36
3.11.3.	Interacção electrostática	37
3.11.4.	Ligação química	38
3.12.	Electrodeposição	39
3.12.1.	História da electrodeposição.....	39
3.12.2.	Princípios fundamentais	41
3.12.3.	Características das Tintas Usadas em Cataforese.....	43
3.12.4.	Controlo do Banho e do Revestimento.....	45

3.13.	Normalização	47
3.13.1.	Norma	47
4.	Procedimento experimental	48
4.1.	Material Usado	48
4.2.	Fluxograma do Processo.....	50
4.3.	Esquemas de pré-tratamento químico em estudo	52
4.4.	Caracterização dos produtos utilizados	53
4.5.	Metodologias de trabalho internas.....	53
4.6.	Metodologias Experimentais	54
4.7.	Observação visual e microscópica.....	54
4.8.	Espessura da película seca ^[39]	54
4.9.	Aderência pelo método da quadrícula ^[40]	55
4.10.	Perda de massa ^[41]	56
4.11.	Ensaio de envelhecimento acelerado.....	57
4.11.1.1.	Resistência à condensação e humidade constante ^[40,42]	58
4.11.1.2.	Resistência ao nevoeiro salino ^[43]	59
4.11.1.3.	Resistência ao ensaio fervente ^[44]	60
5.	Apresentação e Discussão dos Resultados.....	60
5.1.	Observação visual e microscópica.....	60
5.1.1.	Defeitos mais frequentes no revestimento cataforético	62
5.2.	Espessura da película seca.....	65
5.3.	Aderência pelo método da quadrícula	66
5.4.	Perda de massa	69
5.5.	Ensaio de envelhecimento acelerado	95
5.5.1.	Resistência à condensação e humidade constante.....	95

5.5.2.	Resistência ao nevoeiro salino	96
5.5.3.	Resistência ao ensaio fervente	98
6.	Estudo Ambiental	98
7.	Estudo Económico	99
8.	Conclusões	101
9.	Referências Bibliográficas	102

Índice de figuras

Figura 1 - Instalações da Caetano Coatings, no Carregado.	xi
Figura 2 – Representação esquemática de onde o projecto em estudo está inserido... 1	
Figura 3 - Esquema do processo de corrosão/metalurgia.	2
Figura 4 - Esquema do ciclo do aço.....	3
Figura 5 - Formas comuns de corrosão.....	11
Figura 6 - Tipos de corrosão localizada: macroscópica versus microscópica.	12
Figura 7 - Os três comportamentos de um metal num ambiente.	13
Figura 8 - Mecanismo de remoção de partículas das superfícies.	24
Figura 9 - Mecanismo de remoção de óleo da superfície.	24
Figura 10 - Esquema do processo de fosfatação de superfícies de aço.	26
Figura 11 - Morfologia de cristais de zinco em diversas superfícies (Microscopia Electrónica de Varrimento - SEM).	29
Figura 12 - Esquema que ilustra a finalidade da passivação.	30
Figura 13 – Morfologia da camada de silanos. (A) – Microscopia de Varrimento Electrónico (SEM). (B) – Microscopia de emissão de campo (FEG-SEM).....	31
Figura 14 - Esquema simplificado do mecanismo de ligação entre as moléculas de silano e a camada de hidróxido do metal na superfície. (a) antes de condensação; (b) após a condensação.....	32
Figura 15 - Papel do revestimento resistente à corrosão.	35
Figura 16 - Ilustração esquemática da ligação mecânica.....	36
Figura 17 - Ar aprisionado numa depressão.	37
Figura 18 – Representação esquemática da reacção de um silano com um substrato reactivo.....	38
Figura 19 – Esquema da electrodeposição anódica e catódica.	39

Figura 20 - Fases de deposição de uma tinta durante a cataforese.	43
Figura 21 – Esquema da deposição das aminas protonizadas na superfície metálica catódica.	44
Figura 22 - Defeitos de pintura cataforética (esquerda) e bicos de alfinete e crateras (direita).....	46
Figura 23 - Influência da tensão na espessura de um película cataforética depositada.	46
Figura 24 – Membrana virgem (a) e membrana com revestimento cataforético (b).	49
Figura 25 – Provete de alumínio.....	50
Figura 26 – Fluxograma do processo da linha de desgorduramento/desoxidação e da cataforese.	50
Figura 27 - Fluxograma do processo referente à linha de pintura líquida (linha 4) e à cataforese.	51
Figura 28 - Fluxograma do processo referente à linha de pintura a pó (linha 1) e à cataforese.	51
Figura 29 - Fluxograma do processo referente à linha de pintura a pó (linha 2) e à cataforese.	52
Figura 30 – Peças com boa qualidade a nível visual.	61
Figura 31 – Representação de empolamentos numa peça.	61
Figura 32 – Cratera visível após pintura.	62
Figura 33 – Peça com rugosidade na superfície.	63
Figura 34 – Peça com marcas de pré-secagem.	63
Figura 35 – Peças com marcas de escorridos e fervidos.....	64
Figura 36 – Peças com inclusões/sujidades.	64
Figura 37 – Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desoxidação para os provetes na linha de desgorduramento/desoxidação.....	71

Figura 38 - Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desgorduramento dos provetes na linha de desgorduramento/desoxidação..... 72

Figura 39 - Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desgorduramento e desoxidação dos provetes na linha de desgorduramento/desoxidação. 73

Figura 40 – Comparação dos valores de perda de massa dos provetes e das membranas para 10 minutos de desgorduramento e 3 minutos de desoxidação, na linha de desgorduramento/desoxidação. 75

Figura 41 – Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desoxidação dos provetes na linha de desgorduramento/desoxidação, mantendo o tempo de desgorduramento constante. 77

Figura 42 – Representação gráfica da perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desgorduramento e 3 minutos para o de desoxidação..... 79

Figura 43 – Representação gráfica da perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desgorduramento e 3 minutos para o de desoxidação, e com as concentrações dos banhos de desgorduramento e de desoxidação mais baixas. 81

Figura 44 - Comparação dos valores de perda de massa das membranas e dos provetes tratados no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão. 83

Figura 45 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão..... 85

Figura 46 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por aspersão. 86

Figura 47 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por aspersão. 89

Figura 48 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por imersão..... 91

Figura 49 – Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por aspersão. 93

Figura 50 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por imersão..... 94

Figura 51 – Medidor de espessuras Elcometer® 355 com uma sonda Elcometer® T5511982 acoplada.	II
Figura 52 – Banho termostático P-Selecta Tectron 200.	II
Figura 53 – Câmara de nevoeiro salino Erichsen modelo 606/100.	II
Figura 54 – Câmara de condensação constante Erichsen Hygrotherm 519.	III
Figura 55 – Fita adesiva 3M Scotch 2525.	III
Figura 56 - Conjunto escantilhão/x-acto TQC – Thermimpart Quality Control.	III
Figura 57 – Medidor de Condutividade EcoScan CON5.	IV
Figura 58 – Medidor de pH EcoScan pH 5.	IV
Figura 59 – Balança analítica Kern ALJ 220-4M com 4 casas decimais.	IV
Figura 60 – Lupa de ampliação 10x / 38D Eschenbach – Elcometer®.	IV
Figura 61 – Padrões de espessura Elcometer® certificados.	V
Figura 62- Bastidor utilizado para o desengorduramento/desoxidação das membranas de alumínio.	V
Figura 63 – Bastidor utilizado para a pintura das membranas de alumínio por cataforese.	V
Figura 64 – Curva de temperatura do forno de polimerização da cataforese efectuada no dia 14 de Julho de 11.	XI

Índice de tabelas

Tabela 1 – Potenciais padrão de redução e oxidação a 25 °C.....	5
Tabela 2 - Classificação dos revestimentos.	34
Tabela 3 - Normalização dos ensaios realizados.	48
Tabela 4 – Composição química do alumínio das membranas.....	49
Tabela 5 - Composição química do alumínio dos provetes	49
Tabela 6 – Esquemas de pré-tratamento estudados.	52
Tabela 7 - Classificação da quadrícula segundo a norma GME 60 401	56
Tabela 8 – Classificação de aceitação para a aderência pelo método da quadrícula.	56
Tabela 9 - Classificação dos empolamentos segundo a norma DIN 53 209.....	58
Tabela 10 - Classificação de aceitação para o tempo de exposição de 96 horas.	58
Tabela 11 - Classificação de aceitação para o tempo de exposição de 96 horas.	59
Tabela 12 - Classificação de aceitação para o tempo de exposição de 2 horas.	60
Tabela 13 – Espessura média das peças de ensaio.....	65
Tabela 14 – Resultados obtidos através do ensaio de aderência pelo método da quadrícula antes e após os ensaios de envelhecimento acelerado.	67
Tabela 15 – Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa entre provetes e membranas.	70
Tabela 16 – Valores de perda de massa dos provetes em função dos tempos de desoxidação para os provetes na linha de desgorduramento/desoxidação.....	71
Tabela 17 - Valores de perda de massa em função aos tempos de desgorduramento dos provetes na linha de desgorduramento/desoxidação.	72
Tabela 18 - Valores de perda de massa em função dos tempos de desgorduramento e desoxidação.....	73
Tabela 19 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa entre provetes e membranas	74

Tabela 20 – Valores de perda de massa dos provetes para 10 minutos de desgorduramento e 3 minutos de desoxidação, na linha de desgorduramento/desoxidação.	75
Tabela 21 - Valores de perda de massa das membranas para 10 minutos de desgorduramento e 3 minutos de desoxidação, na linha de desgorduramento/desoxidação.	75
Tabela 22 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas na linha d de desgorduramento/desoxidação.	76
Tabela 23 - Valores de perda de massa das membranas, fixando o tempo de estágio no desgorduramento e variando o tempo na desoxidação, na linha de desgorduramento/desoxidação.	76
Tabela 24 - Resultado da análise dos banhos previamente realizada ao estudo da perda de massa das membranas	78
Tabela 25 - Valores de perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desgorduramento e 3 minutos para o de desoxidação.	78
Tabela 26 - Resultado da análise dos banhos previamente realizada ao estudo da perda de massa das membranas	80
Tabela 27 - Valores de perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desgorduramento e 3 minutos para o de desoxidação, e com as concentrações dos banhos de desgorduramento e de desoxidação mais baixas.....	80
Tabela 28 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas e provetes tratados por aspersão e por imersão na linha 4	82
Tabela 29 - Valores de perda de massa para diferentes tempos de desgorduramento e desoxidação, de provetes tratados no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão.....	83
Tabela 30 - Valores de perda de massa para diferentes tempos de desgorduramento e desoxidação, de membranas tratados no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão.....	83
Tabela 31 -- Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por imersão na linha 4	84

Tabela 32 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão, com uma concentração do banho de desoxidação mais baixa.	85
Tabela 33 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por aspersão.	86
Tabela 34 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por aspersão na linha 1	88
Tabela 35 - Estudo dos valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por aspersão.	88
Tabela 36 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por imersão na linha 1	90
Tabela 37 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por imersão.....	90
Tabela 38 - Resultado da análise dos banhos previamente realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por aspersão na linha 2.....	92
Tabela 39 - Estudo dos valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por aspersão.	92
Tabela 40 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por imersão na linha 2	93
Tabela 41 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por imersão.....	94
Tabela 42 - Análise do revestimento após 96 horas de exposição em câmara de nevoeiro salino.	96
Tabela 43 – Gastos efectuados com as membranas.....	100
Tabela 44 - Gastos efectuados com o material/reagentes de laboratório.....	100
Tabela 45 - Gastos dos produtos químicos para os pré-tratamentos de cada linha.	100

Lista de abreviaturas e siglas

Água industrial – Água do furo

o-fosfato – orthofosfato

Pts - pontos

Bastidor – Suporte que faz o transporte de várias peças ao longo do processo de pintura

COV's – Compostos Orgânicos Voláteis

HAP's – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

Galvanneal – Tipo de aço que é produzido por galvanização e recozimento

PIB – Produto Interno Bruto

Scrubber – Sistema de tratamento de efluentes gasosos, também conhecido como lavador de gases

Ponto de orvalho – temperatura à qual o vapor de água presente no ar passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas

Pigmento – elemento da tinta da cataforese, que consiste num conjunto de compostos químicos que conferem propriedades de cor, brilho e anti-corrosivas

Ligante – elemento da tinta da cataforese, que consiste num conjunto de compostos químicos que criam uma capa plástica de protecção

UF – Ultra-filtrado, fase líquida que contém água, solventes e sais solúveis e que é obtida através da ultrafiltração da tinta do processo de cataforese

2. Introdução

Este trabalho encontra-se inserido no âmbito da optimização da linha de desgorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de



Figura 2 – Representação esquemática de onde o projecto em estudo está inserido.

desoxidação, assim como, as concentrações dos banhos, visto que o fornecedor indicado pelo cliente só indicou intervalos de tempo e de concentração.

A posteriori, foi realizado um estudo de pré-tratamento destas membranas nas outras linhas existentes na empresa, de modo a criar mais opções para não se estar dependente de apenas um fornecedor. Neste estudo foram consideradas exigências do cliente, aspectos ambientais e económicos.

estacionamento. Esta linha de desgorduramento/desoxidação foi construída de raiz só para desgordurar e desoxidar as membranas de alumínio para posterior pintura por electrodeposição catódica e pintura líquida.

O início deste projecto foi acompanhado pela Engenharia e pelo Laboratório e só posteriormente foi entregue ao sector da Produção.

O presente trabalho permitiu definir os tempos de estágio nos banhos de desgorduramento e de

3. Fundamentos Teóricos

3.1. Corrosão de materiais

A corrosão pode ser definida como uma interacção físico-química de um metal com o meio ambiente do qual resultam alterações das propriedades do metal e frequentemente a degradação funcional do mesmo.

A palavra corroer é derivada do latim *corrodere*, que significa “roer aos pedaços”. A definição geral de corroer é comer ou desgastar gradualmente. Assim, a corrosão pode ser definida como uma reacção química ou electroquímica entre um material, que normalmente é um metal, e o meio ambiente, que produz a deterioração do material e altera as suas propriedades.^[2]

A corrosão é um processo que corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos de obtenção do metal e pode ser assim esquematizada:

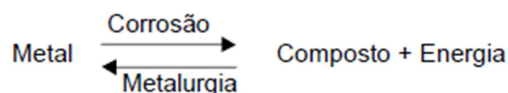


Figura 3 - Esquema do processo de corrosão/metalurgia.

Enquanto na metalurgia se fornece energia ao sistema para a obtenção do metal, na corrosão observa-se a transformação espontânea do metal à forma combinada, com consequente libertação de energia. Este ciclo é denominado “ciclo dos metais”.^[2]

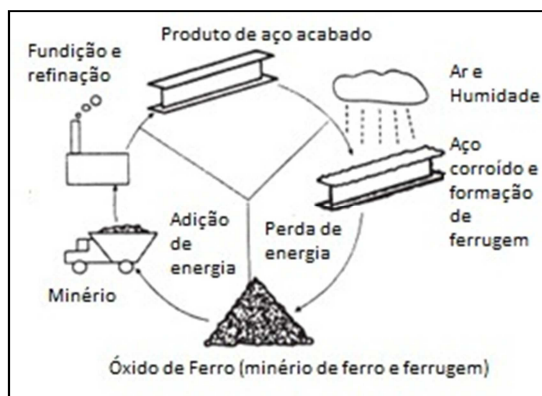


Figura 4 - Esquema do ciclo do aço.

Fonte: Adaptado de *Corrosion – Understanding the Basics*. ASM International, Estados Unidos da América, 2000

A corrosão é um processo electroquímico, em geral espontâneo, e que aliado ou não a um esforço mecânico, afecta a durabilidade e desempenho dos materiais. A equação geral que descreve este processo pode escrever-se:^[3]



em que M é um metal e n é o valor numérico da carga positiva e o número de electrões envolvidos na mudança do estado de oxidação.

O estudo da corrosão envolve conhecimento de vários campos da ciência, destacando-se: química, electroquímica, metalurgia, termodinâmica, físico-química e cinética química.^[4]

Velocidade de corrosão

A velocidade de corrosão pode ser avaliada de diferentes formas. Embora o processo seja muito complexo sabe-se que, numa solução aquosa, a quantidade de metal corroído uniformemente, durante um certo período de tempo pode ser determinado pela Lei de Faraday.^[3]

$$m = k \cdot Q \quad (2)$$

onde m é a massa da substância (g), k uma constante de proporcionalidade e Q a carga eléctrica (eC).

Por vezes, a corrosão uniforme é igualmente expressa em densidade de corrente indicada em Ampere por cm^2 ($\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$). Também é comum em tubagens e reservatórios, avaliar a perda de espessura. Esta pode ser calculada pela perda de massa de um provete: ^[3]

$$Velocidade = \frac{m}{A \times t} = \rho \frac{x}{t} \quad (3)$$

em que m é a perda de massa (kg), A a área total do provete (m^2), t o tempo de corrosão (dias), ρ a densidade do metal ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) e x a perda de espessura (m).

3.2. Tipos de corrosão

Os processos de corrosão podem ser classificados em três grandes grupos, que abrangem todos os casos de deterioração por corrosão que ocorrem na natureza.

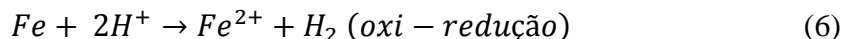
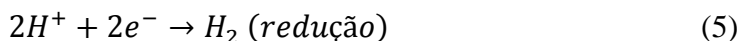
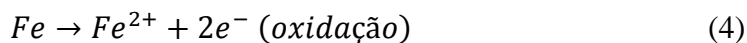
3.2.1. Corrosão electroquímica

Os processos de corrosão electroquímica são os mais frequentes na natureza e caracterizam-se basicamente por ocorrerem: ^[4]

- necessariamente na presença de água;
- a temperaturas abaixo do ponto de orvalho, sendo a grande maioria à temperatura ambiente;
- devido à formação de células de corrosão.

Mecanismo electroquímico de corrosão

A oxidação é a perda de electrões de uma espécie química e redução é o ganho de electrões. Assim, quando o ferro metálico (Fe) é atacado por ácidos, como, por exemplo: o ácido clorídrico (HCl), ocorrem as reacções de oxi-redução: ^[4]



Logo, quando os metais perdem electrões, eles oxidam-se, sofrendo assim corrosão. Metais diferentes apresentam diferentes tendências à oxidação.

Tabela 1 – Potenciais padrão de redução e oxidação a 25 °C.

Fonte: Adaptado de Tabela de potenciais padrão de redução (<http://www.colegioweb.com.br/quimica/tabela-de-potenciaispadrao-de-reducao-.html> acedido em 25 de Janeiro de 2011)

Potencial de redução (E_{red}^0)	Estado reduzido	Estado oxidado	Potencial de oxidação (E_{oxid}^0)
-3,04	Li	$Li^{+} + e^{-}$	+3,04
-2,92	K	$K^{+} + e^{-}$	+2,92
-2,90	Ba	$Ba^{2+} + 2e^{-}$	+2,90
-2,89	Sr	$Sr^{2+} + 2e^{-}$	+2,89
-2,87	Ca	$Ca^{2+} + 2e^{-}$	+2,87
-2,71	Na	$Na^{+} + e^{-}$	+2,71
-2,37	Mg	$Mg^{2+} + 2e^{-}$	+2,37
-1,66	Al	$Al^{3+} + 3e^{-}$	+1,66
-1,18	Mn	$Mn^{2+} + 2e^{-}$	+1,18
-0,83	$H_2 + 2(OH)^{-}$	$2 H_2O + 2e^{-}$	+0,83
-0,76	Zn	$Zn^{2+} + 2e^{-}$	+0,76
-0,74	Cr	$Cr^{3+} + 3e^{-}$	+0,74
-0,48	S^{2-}	$S + 2e^{-}$	+0,48
-0,44	Fe	$Fe^{2+} + 2e^{-}$	+0,44
-0,28	Co	$Co^{2+} + 2e^{-}$	+0,28
-0,23	Ni	$Ni^{2+} + 2e^{-}$	+0,23
-0,13	Pb	$Pb^{2+} + 2e^{-}$	+0,13
0,00	H_2	$2H^{+} + 2e^{-}$	0,00
+0,15	Cu^{+}	$Cu^{2+} + e^{-}$	-0,15
+0,34	Cu	$Cu^{2+} + 2e^{-}$	-0,34
+0,40	$2(OH)^{-}$	$H_2O + 1/2 O_2 + 2e^{-}$	-0,40
+0,52	Cu	$Cu^{+} + e^{-}$	-0,52
+0,54	I_2	$I_2 + 2e^{-}$	-0,54
+0,77	Fe^{2+}	$Fe^{3+} + e^{-}$	-0,77
+0,80	Ag	$Ag^{+} + e^{-}$	-0,80
+0,85	Hg	$Hg^{2+} + 2e^{-}$	-0,85
+1,09	$2 Br^{-}$	$Br_2 + 2e^{-}$	-1,09
+1,23	H_2O	$2H^{+} + 1/2 O_2 + 2e^{-}$	-1,23
+1,36	$2 Cl^{-}$	$Cl_2 + 2e^{-}$	-1,36
+2,87	$2 F^{-}$	$F_2 + 2e^{-}$	-2,87

É, portanto, de grande ajuda para o estudo de processos electroquímicos de corrosão dispor os metais em tabela que indique a ordem preferencial de cedência de electrões. Essa tabela é conhecida por tabela de potenciais de redução e oxidação a 25 °C, sendo o sistema formado pelo metal e a solução em contacto com o metal.

Esta tabela permite indicar o material que terá tendência a funcionar como ânodo (aquele que será corroído). Em alguns casos, quando é inevitável a junção de dois materiais metálicos diferentes, pode-se escolher um deles com um revestimento do outro, de modo a permitir uma aproximação de potenciais, diminuindo assim a diferença de potenciais e consequentemente o processo corrosivo.^[4]

3.2.2. Corrosão galvânica

A corrosão galvânica resulta do acoplamento de materiais metálicos com diferentes potenciais de redução quando colocados em presença de um electrólito (exemplo: água do mar), gerando uma transferência de cargas eléctricas de um para o outro, devido à diferença dos potenciais de redução.^[4]

Caracteriza-se por apresentar corrosão localizada próxima à região do acoplamento, ocasionando profundas perfurações no material metálico que funciona como ânodo.^[4]

Quando materiais metálicos, com diferentes potenciais de redução, estão em contacto, a corrosão do material metálico que funciona como ânodo é muito mais acentuada que a corrosão deste material isolado sob acção do mesmo meio corrosivo.

Exemplos que permitem explicar o mecanismo da corrosão galvânica, da protecção catódica com ânodos sacrificiais ou galvânicos e a natureza do produto de corrosão são as células electroquímicas formadas pelos metais ferro, cobre e zinco, em contacto com água salgada.^[4]

3.2.3. Corrosão electrolítica

A corrosão electrolítica pode ser definida como sendo a deterioração de um material metálico forçado a funcionar como ânodo activo de uma célula ou pilha electrolítica. Geralmente, as áreas corroídas apresentam-se livres do produto de corrosão e, como é uma forma de corrosão localizada, em pouco tempo formam-se *pites* ou alvéolos com a consequente perfuração do material.^[4]

3.2.4. Corrosão química

Também denominada corrosão em meio não-aquoso ou corrosão seca. É um processo menos frequente na natureza e surgiu basicamente com a industrialização, envolvendo operações a temperaturas elevadas. Também é conhecido como corrosão ou oxidação a altas temperaturas.^[4]

Estes processos corrosivos caracterizam-se basicamente por se realizarem:

- a) necessariamente na ausência de água;
- b) devido à interacção directa entre o metal e o meio corrosivo, não havendo deslocamento de electrões, como no caso das células de corrosão electroquímica.

Poderá ocorrer também a presença de substâncias agressivas associadas a temperaturas elevadas. Algumas substâncias agressivas actuam no estado de gás ou vapor, e outras fundidas. Entre os meios corrosivos a altas temperaturas estão: enxofre e gases contendo enxofre, hidrogénio, vapor de água, amoníaco, carbono e gases contendo carbono, cinzas de óleos combustíveis contendo enxofre, sódio e vanádio.^[4]

3.3. Formas de corrosão

A corrosão pode ocorrer, quanto ao aspecto, sob diferentes formas, e o seu conhecimento é muito importante no estudo de um processo corrosivo. A caracterização da forma de corrosão auxilia bastante no esclarecimento do mecanismo e na aplicação de medidas adequadas de protecção.^[4]

A classificação das formas de corrosão é normalmente baseada num dos três factores:^[2]

- natureza do agente que provoca a corrosão: a corrosão pode ser classificada de *seca* ou de *molhada*. Para o primeiro tipo é necessário que o agente seja um líquido ou uma mistura líquida. A corrosão seca geralmente envolve uma reacção com gases a alta temperatura.
- mecanismo de corrosão: reacções químicas ou electroquímicas
- aparência do metal corroído: a corrosão é uniforme e o metal é corroído à mesma velocidade em toda a sua superfície, ou é localizada, sendo afectadas apenas pequenas áreas.

A classificação por aparência, que é particularmente útil, baseia-se na identificação de formas de corrosão por observação visual quer a olho nu ou com ampliação. A morfologia do ataque é a base para a classificação. Os tipos de corrosão *molhada* ou *aquosa*, baseados na aparência do metal corroído, que podem ser identificados são:^[2,4-6]

- Corrosão uniforme: a corrosão processa-se em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura, com formação, como no caso do ferro, de escama de ferrugem.^[2,4-6]

- Corrosão galvânica: tem lugar quando estão em contacto dois materiais diferentes, originando uma célula galvânica.^[2,4-6]

- Corrosão por fenda: também designada por corrosão intersticial ocorre nas juntas estreitas que se enchem de líquido, e é normalmente causada por formação de células de arejamento diferencial. Tal ocorre pelo facto do oxigénio do ar ter maior dificuldade de penetrar na junta (ou fenda) do que em aceder às restantes zonas da superfície. Como resultado, o metal no interior da junta funciona como ânodo e corrói-se, enquanto o metal junto à entrada funciona como cátodo, ficando protegido da corrosão.^[2,4-6]

- Corrosão-erosão: a erosão de um material metálico é o desgaste mecânico provocado pela abrasão superficial de uma substância sólida, líquida ou gasosa, que é capaz de remover as películas protectoras, constituídas pelos produtos de corrosão, expondo a superfície a um novo desgaste corrosivo.^[2,4-6]

- Corrosão intergranular e transgranular: a corrosão processa-se entre e através dos grãos da rede cristalina do material metálico, respectivamente. Nessas duas formas de corrosão, embora não haja perda de massa significativa, ocorre o comprometimento das características mecânicas dos materiais metálicos, os quais perdem as suas propriedades mecânicas e podem fracturar, quando solicitados em esforços mecânicos, originando então a corrosão sob tensão fracturante, chamada também, corrosão sob tensão ou por *stress*.^[2,4-6]

- Corrosão por placas: a corrosão localiza-se em algumas regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações.^[2,4-6]

- Corrosão alveolar: a corrosão processa-se produzindo sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo arredondado e profundidade geralmente menor que o seu diâmetro.^[2,4-6]

- Corrosão puntiforme: a corrosão processa-se em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica, produzindo *pites*, que são cavidades apresentando profundidades geralmente maiores que seus diâmetros. Os locais sem tinta funcionarão como ânodos localizados, ocorrendo e intensificando-se neles a corrosão que, caso o revestimento seja muito aderente e o ambiente muito agressivo, poderá dar origem à ocorrência de picadas profundas em pouco meses. Também a acção dos iões cloreto e outros iões agressivos sobre componentes metálicos, pode originar corrosão por picadas. Decorrente do aspecto tem-se a conhecida corrosão por *pite* ou por *pitting*.^[2,4-6]

- Corrosão filiforme: a corrosão processa-se sob a forma de filamentos que se propagam em diferentes direcções, porém não em profundidade. Ocorre geralmente em superfícies metálicas com revestimentos à base de estanho, níquel e outros, ou não metálico (tintas), em presença de humidade relativa elevada, da ordem de 85% e em revestimentos mais permeáveis a penetração de oxigénio e água. Inicia-se, vulgarmente, em riscos, ou falhas dos revestimentos, que atinjam o substrato, isto é, a superfície metálica. Embora não ocasionando grande perda de massa do material metálico, produzem nas superfícies pintadas, os filamentos que fazem com que a película de tinta se desprenda.^[2,4-6]

- Esfoliação: a corrosão processa-se em diferentes camadas. O produto de corrosão, formado entre a estrutura de grãos alongados, separa as camadas ocasionando o inchamento do material metálico.^[2,4-6]

- Corrosão gráfica: a corrosão processa-se no ferro fundido cinzento, sendo o ferro metálico é convertido em produtos de corrosão, restando a grafite intacta. A área corroída fica com aspecto escuro, característico da grafite, que pode ser facilmente retirada com uma espátula.^[2,4-6]

- Dezincificação: é a corrosão que ocorre em ligas de cobre-zinco (latões) observando-se o aparecimento de regiões com a coloração avermelhada, devido ao

cobre, contrastando com a característica coloração amarela dos latões. A corrosão gráfrica e a dezincificação podem ser consideradas exemplos de corrosão selectiva, pois a corrosão é preferencial no ferro e no zinco respectivamente.^[2,4-6]

- Corrosão em torno de solda: é a corrosão que se observa ao longo e ligeiramente afastada do cordão de solda. Ocorre geralmente em aços inoxidáveis com teores de carbono maiores do que 0,03%.^[2,4-6]

- Empolamento pelo hidrogénio: embora não sendo considerado por alguns autores como forma de corrosão, é comum encontrá-la referida em livros de corrosão, pois o hidrogénio atómico, causador do processo, pode ser originado pela corrosão do material metálico. O hidrogénio atómico, H, penetra no aço carbono e como tem pequeno volume atómico, difunde-se rapidamente para o interior do material metálico e em regiões com descontinuidades, como inclusões e vazios, transforma em hidrogénio molecular (H₂), não se difundindo mais, exercendo pressão e originando a formação de bolhas no material metálico, daí o nome de empolamento.^[2,4-6]

- Corrosão por fadiga: consiste numa degradação do material em consequência da acção simultânea de cargas/esforços e da acção corrosiva do meio a que o material está exposto.^[2,4-6]

- Corrosão sob depósito: ocorre normalmente sob deposições não metálicas e revestimentos. É devida à acção da humidade retida na deposição, a qual não só pode solubilizar agentes químicos agressivos na deposição, como permite a criação de uma solução electrolítica e, simultaneamente, de células de arejamento diferencial, como ocorre na corrosão intersticial.^[2,4-6]

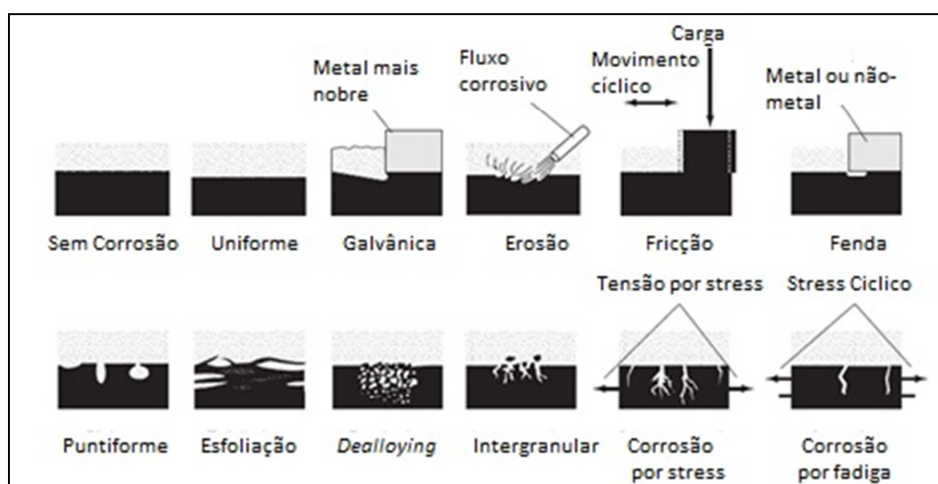


Figura 5 - Formas comuns de corrosão.

Fonte: Adaptado de *Corrosion – Understanding the Basics*. ASM International, Estados Unidos da América, 2000.

Em teoria, as formas de corrosão são claramente distintas, contudo, na prática existem casos de corrosão que se enquadram em mais do que uma categoria. Outros casos de corrosão são de difícil enquadramento em qualquer uma das oito categorias. No entanto, este sistema de classificação é bastante útil no estudo de problemas de corrosão.^[2]

Pode-se também fazer uma distinção do tipo de corrosão em termos macroscópicos e microscópicos. As formas macroscópicas de corrosão afectam áreas maiores e são geralmente observáveis a olho nu ou podem ser visualizados com o auxílio de um dispositivo de baixo poder de ampliação. Em relação à corrosão microscópica, a quantidade de metal corroído é mínima e pode ocorrer uma deterioração considerável antes de o problema se tornar visível a olho nu.^[2]

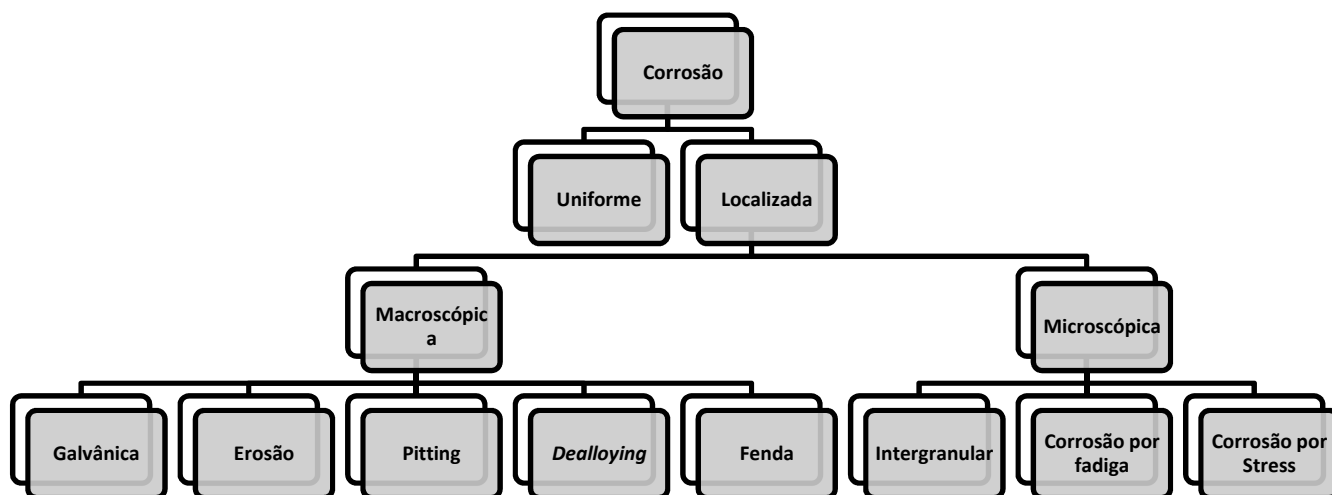


Figura 6 - Tipos de corrosão localizada: macroscópica versus microscópica.

Fonte: Adaptado de *Corrosion – Understanding the Basics*. ASM International, Estados Unidos da América, 2000.

3.4. Principais meios corrosivos

Os meios corrosivos no campo da corrosão electroquímica são o próprio electrólito. O electrólito é uma solução electricamente condutora constituída por água contendo sais, ácidos ou bases, ou ainda outros líquidos como sais fundidos. Os principais meios corrosivos e respectivos electrólitos são:^[4]

- atmosfera: o ar contém humidade, sais em suspensão (especialmente na orla marítima), gases industriais (especialmente gases de enxofre), poeira, etc. O electrólito forma-se a partir da água que condensa na superfície metálica, na presença de sais ou gases de enxofre. Outros constituintes como poeira e poluentes diversos, podem acelerar o processo corrosivo;^[4]

- solos: os solos contêm humidade e sais minerais. Alguns solos apresentam também características ácidas ou básicas. O electrólito é principalmente água com sais dissolvidos;^[4]

- água doce (dos rios, dos lagos ou do subsolo): estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, poluentes diversos e

gases dissolvidos. O electrólito é principalmente água com sais dissolvidos. Os outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo;^[4]

- água do mar: esta água contém uma quantidade apreciável de sais, sendo desta forma um electrólito por excelência. Outros constituintes como gases dissolvidos, podem acelerar o processo corrosivo;^[4]

- produtos químicos: os produtos químicos, desde que em contacto com água ou com humidade e sendo ionizáveis, formam um electrólito, podendo provocar corrosão electroquímica.^[4]

3.4.1. Comportamento de um metal num meio corrosivo

Quando um metal é imerso num meio corrosivo, o metal pode comportar-se de uma de três maneiras. Esses comportamentos estão representados na figura 7, em que aparece um pedaço de metal parcialmente imerso num ambiente corrosivo.^[2]

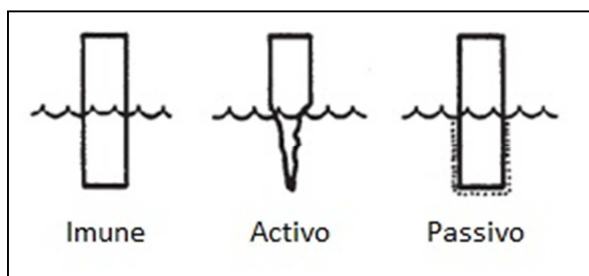


Figura 7 - Os três comportamentos de um metal num ambiente.

Fonte: Adaptado de *Corrosion – Understanding the Basics*. ASM International, Estados Unidos da América, 2000

Comportamento imune: Os metais que demonstram imunidade são conhecidos como metais nobres e incluem, por exemplo, o ouro, a prata e a platina. Para a interacção do metal com o ambiente resultar num comportamento imune, não podem ocorrer reacções nem a corrosão do metal. O metal antes de ser imerso numa solução e após essa exposição, não deve apresentar perda de peso. O comportamento imune é devido à estabilidade termodinâmica do metal num ambiente particular, isto é, a reacção de oxidação não ocorre espontaneamente.^[2]

Comportamento activo: O comportamento activo do metal verifica-se quando este é corroído em solução, isto é, o metal dissolve-se na solução e forma produtos de corrosão solúveis que não o protegem, evitando a subsequente corrosão. A corrosão activa é caracterizada pela elevada perda de massa do metal.^[2]

Comportamento passivo: Neste caso, o metal sofre corrosão, seguida de um estado em que o comportamento do metal é passivo. Após a imersão do metal na solução ocorre uma reacção, e o metal é corroído, contudo, forma-se um filme protector insolúvel através dos produtos de corrosão. Este filme fino ($\cong 30\text{\AA}$) protector, é também referido como um filme passivo, que retarda a velocidade de reacção. A resistência à corrosão, quando se está a lidar com o comportamento passivo, depende da pureza do filme protector. Se o filme passivo é destruído ou se dissolver, o metal adopta um comportamento activo e poderá ocorrer uma rápida dissolução do metal.^[2]

3.5. Os efeitos e os impactos económicos da corrosão

A corrosão é um processo natural. Assim como a água corre para zonas mais baixas, todos os processos naturais tendem para estados de energia mais baixos.

Os efeitos da corrosão nos dias de hoje são directos, em que a corrosão afecta a vida útil dos bens pessoais, e também indirectos, quando os produtores e fornecedores de bens e serviços aumentam os preços devido à corrosão, preços esses que são suportados pelos consumidores. A corrosão doméstica é facilmente reconhecida nas chapas dos automóveis, mobiliário de jardim e ferramentas metálicas. A manutenção preventiva, como a pintura, protege estes objectos da corrosão.^[2]

Muito mais sério é a corrosão afectar as vidas quotidianas. Por exemplo, a corrosão do aço usado para reforçar as pontes/viadutos poderá ter como consequência o abatimento das mesmas; torres de electricidade podem desabar; os edifícios podem sofrer danos nas suas estruturas, resultando em custos de reparação significativos e a colocando em risco a segurança pública.^[2]

As consequências mais perigosas da corrosão são quando esta ocorre em zonas industriais, como centrais eléctricas ou indústrias químicas. Paragens das instalações industriais podem ocorrer resultantes do processo da corrosão, sendo uma das suas consequências directas e indirectas. Outras consequências são:^[2]

- substituição do equipamento corroído
- manutenção preventiva, por exemplo, a pintura
- encerramento de uma instalação devido a uma falha originada pela corrosão
- contaminação de produtos
- perda de eficiência
- perda de produtos valiosos, que por exemplo, estejam num recipiente que se

encontra corroído

- impossibilidade da utilização de materiais
- danos em equipamentos adjacentes àquele em que ocorreu a corrosão

Poderão existir ainda consequências sociais, que envolvem os seguintes aspectos:

- segurança: uma falha repentina pode causar um incêndio, uma explosão, a libertação de produtos tóxicos e o colapso da construção
- saúde: poluição devido à fuga de um produto de um equipamento corroído
- aparência: quando o material corroído é desagradável ao olhar
- diminuição dos recursos naturais, incluindo os metais e os combustíveis utilizados para os transformar.

Com o avanço tecnológico, mundialmente alcançado, o custo da corrosão é muito elevado tornando-se um factor de grande importância.

Em termos de quantidade de material danificado pela corrosão, estima-se que uma parcela superior a 30% do aço produzido no mundo seja usada para reposição de peças e partes de equipamentos e instalações deterioradas pela corrosão.^[2]

Sendo a corrosão um processo espontâneo, pode-se prever que a maioria dos metais seria impróprio à utilização industrial. Esta utilização é, no entanto, possível graças à diminuição da velocidade das reacções, que se consegue entre outras formas pelos processos de polarização e passivação, os quais, associados aos processos de protecção, proporcionam a utilização económica e segura dos materiais metálicos.^[2]

Dos processos de protecção anticorrosiva utilizados, a pintura industrial constitui o de maior importância se considerados os aspectos de viabilidade técnica e económica e extensão da sua aplicação.

A corrosão dos metais custa à economia do Estado Unidos da América cerca de 300 mil milhões de dólares por ano. Aproximadamente um terço desses custos poderia ser reduzido através de uma aplicação mais vasta de materiais resistentes à corrosão e de melhores técnicas de protecção. Estas estimativas resultam de uma actualização do estudo *Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States* realizado em 1978, pelos *Battelle Columbus Laboratories* e *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e publicado em Abril de 1995.^[2]

Os *Battelle Columbus Laboratories* actualizaram os resultados anteriores, avaliando as duas décadas de mudanças, em relação ao conhecimento científico e industrial na área da corrosão. No estudo original, em 1975, quase 40% dos custos relativos à corrosão metálica foram devidos à produção, uso e manutenção de automóveis. Nenhum outro sector foi responsável por mais de 4% do total e a maior parte dos sectores contribuíram com menos de 1%.^[2]

Os *Battelle Columbus Laboratories* descobriram que o sector automóvel fez o maior esforço, em termos de anti-corrosão, em relação a qualquer outra indústria. Os avanços têm sido conseguidos com o uso de aços inoxidáveis, metais revestidos e revestimentos protectores. Além disso, as várias substituições de material que se efectuaram com o intuito de reduzir o peso, também diminuíram a corrosão. Os *Battelle Columbus Laboratories* estimam que 15% dos custos de corrosão, anteriormente classificados como inevitáveis, podem ser evitáveis. A indústria automóvel estima que se eliminaram 35% de corrosão através do uso de melhores práticas.^[2]

3.6. Medidas e métodos de prevenção e controlo da corrosão

Embora difícil de evitar, podem ser tomadas diversas medidas para prevenir ou atenuar a corrosão de um metal, algumas das quais já referidas. Como exemplos podem ser indicados.^[3]

- protecção catódica – aplicação de voltagem ou corrente externa, ou utilização de ânodos sacrificais
- passivação (certos metais sofrem oxidação dando origem películas finas de óxidos estáveis, que impedem posterior corrosão – exemplo: anodização do alumínio)
- revestimentos metálicos

- revestimentos orgânicos: pintura, óleos, substâncias betuminosas.
- revestimentos inorgânicos
- evitar contactos bimetálicos
- remoção de oxigénio e água.

Esta é uma área de grande investigação, dados os avultados prejuízos económicos causados pela corrosão, e que são estimados em cerca de 3% do PIB em países desenvolvidos.^[3]

Existem cinco métodos primários de controlo de corrosão: selecção de materiais, revestimentos, inibidores, protecção catódica e *design*.^[2]

Neste trabalho abordar-se-ão os revestimentos como métodos primários de controlo de corrosão.

3.7. Corrosão Automóvel

A corrosão nos automóveis depende fundamentalmente dos ambientes em que estes circulam/funcionam e da natureza dos materiais usados nas suas diferentes partes constituintes. Regra geral, os ambientes podem classificar-se em três grandes grupos:^[7]

- atmosferas circundantes;
- produtos de combustão interna;
- líquidos de diferente natureza indispensáveis ao funcionamento dos automóveis.

3.7.1. A acção das atmosferas

Sendo as atmosferas significativamente diferentes nos diversos pontos do globo, estas podem classificar-se sob o ponto de vista de corrosividade de acordo com diferentes factores atmosféricos entre os quais se salientam o tempo de humedecimento e as taxas de deposição de cloretos e de dióxido de enxofre. São também da maior importância outros factores como a presença de óxidos de azoto (NO_x), chuvas ácidas, sal usado para fundir o gelo das estradas, entre outros.^[7]

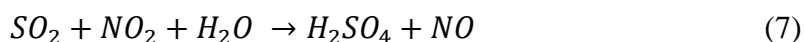
A chuva e a neve são factores influentes na corrosão como fontes de humidade para a atmosfera, bem como a humidade relativa, o nevoeiro e o orvalho. É contudo

conhecido que só a humidade não conduzirá a sérios problemas de corrosão nos automóveis. Esta só ocorre porque, simultaneamente outros agentes agressivos estão presentes na atmosfera. Tais agentes aumentaram significativamente durante o século XX, decorrentes do incremento da poluição, razão pela qual os problemas de corrosão obrigaram ao desenvolvimento de novas tecnologias de combate à corrosão cada vez mais sofisticadas.^[7]

De entre os agentes agressivos presentes na atmosfera, os cloretos provenientes do mar, normalmente na forma de aerossóis e, estendendo-se ao longo de muitos quilómetros da orla marítima, são o principal factor de corrosão nos países com extensa orla marítima como Portugal. Os cloretos provenientes do sal usado nas estradas, nos países frios, para derreter o gelo, não se revestem de interesse significativo, como eventual contaminante, no nosso país.^[7]

Poluentes atmosféricos, tais como o dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x), amoníaco (NH₃) e gás sulfídrico (H₂S), são intervenientes activos na corrosão metálica. A presença de SO₂ na atmosfera, em grande parte proveniente da combustão nos automóveis, origina reacções complexas na atmosfera, que dão origem à formação de ácido sulfúrico como resultado de oxidação e hidrólise. O abaixamento do pH e o aumento da condutividade do meio electrolítico condensado nas superfícies metálicas, conduz à formação de sulfatos higroscópicos que baixam a humidade crítica necessária à ocorrência de corrosão.^[7]

Também a presença de NO_x na atmosfera não só dá origem à formação de ácido nítrico nas superfícies metálicas, como catalisa a passagem de SO₂ a ácido sulfúrico de acordo com a reacção:



Tal efeito sinérgico é especialmente nefasto nos automóveis devido às emissões conterem também NO_x.^[7]

Um outro factor muito importante conducente à corrosão atmosférica é a acumulação de poeiras, vegetação e outras contaminações que conduzem à ocorrência de fenómenos de corrosão por arejamento diferencial ou sob depósito.^[7]

A corrosão mais visível nas carroçarias automóvel é normalmente classificada como corrosão cosmética, desenvolvendo-se de fora para dentro, ou como corrosão estrutural, ocorrendo de dentro para fora. A primeira está usualmente associada com as carroçarias pintadas, sendo neste caso de maior importância a natureza e a qualidade do par substrato/esquema de protecção por pintura. A degradação deste último pode ocorrer segundo diferentes mecanismos, entre os quais se salientam:^[7]

- efeitos galvânicos (pares bimetálicos)
- corrosão por picadas
- células de arejamento diferencial
- corrosão filiforme

A corrosão estrutural na carroçaria conduz à perfuração da mesma, tendo o fenómeno origem no interior da carroçaria. Por seu lado os chassis e toda a parte inferior dos veículos estão mais sujeitos a danos mecânicos devido à sua proximidade com as condições externas das estradas. Neste caso os mecanismos de corrosão mais frequentes decorrem da projecção da gravilha, corrosão generalizada e corrosão em fendas.^[7]

Também as guarnições feitas em aços inoxidáveis e alumínio anodizado, estão sujeitas a corrosão e a descoloração. A corrosão é aqui normalmente localizada por picadas ou em fendas.^[7]

3.7.2. Principais tipos de corrosão envolvidos

Como em qualquer tipo de equipamento ou estrutura metálica, a corrosão dos componentes dos automóveis pode ser generalizada ou uniforme, ou localizada. Este tipo de corrosão ocorre principalmente em áreas não revestidas dos automóveis, por vezes nos guarda-lamas onde a gravilha projectada pelas rodas destrói o revestimento protector, em componentes dos chassis, e entre membros e pilares do mesmo.^[7]

Também algumas zonas do chão, no interior dos automóveis, sofrem corrosão generalizada, por permanecerem húmidas durante longos períodos, em consequência da retenção da água (que entra pelas portas e janelas) sob a borracha que constitui a base dos tapetes. Tal risco é agravado se o desenho do chão interior dos automóveis incluir

cavidades onde a água tenha especial tendência a ficar retida. A retenção de água nos interiores das portas não saindo pelos orifícios de drenagem, pode também provocar corrosão generalizada no fundo interior das mesmas.^[7]

Também muitas outras partes do automóvel poderão sofrer corrosão generalizada, se as condições de circulação/serviço forem especialmente agressivas e, a protecção anticorrosiva aplicada não tiver sido adequadamente especificada e executada.^[7]

Os tipos mais comuns de corrosão localizada, nos automóveis, são corrosão galvânica, corrosão por picadas, corrosão em juntas, corrosão por fadiga e corrosão sob depósito. Contudo, outros mecanismos de corrosão, tais como corrosão por fricção, corrosão sob tensão, corrosão intergranular, corrosão erosão, corrosão por deslizamento e falha dos revestimentos podem ocorrer, ainda que com diferente frequência.^[7]

A reparação dos danos causados pela corrosão dos automóveis implica anualmente enormes custos, mesmo não considerando os problemas que podem colocar em risco as próprias vidas humanas.^[7]

Considerando a longevidade dos veículos automóvel e as consequências económicas e sociais, que frequentemente se verificam, é da maior importância examinar cuidadosamente os problemas de corrosão dos mesmos, bem como as diferentes técnicas desenvolvidas e em desenvolvimento para controlar tão nefasto problema.^[7]

3.8. Metais utilizados na indústria automóvel

O automóvel é um sistema multimaterial complexo e é constituído pela carroçaria e por componentes estruturais. As carroçarias automóveis e os componentes estruturais produzidos actualmente contêm diferentes tipos de substratos, como por exemplo, aço laminado a frio, aço electrolgalvanizado, aço galvanizado por imersão a quente, *galvanneal*, ligas de alumínio e plásticos.^[8]

Neste trabalho experimental focar-se-ão os materiais dos componentes estruturais, nomeadamente o alumínio e as suas ligas.

Alumínios e as suas ligas

A indústria automobilística começou a utilizar o alumínio, nos últimos 30 anos e actualmente representa cerca de 60% do consumo do alumínio, como exemplos pode-se citar: blocos de motor, carcaças de motores, jantes, veículos pesados, entre outros.^[9]

Uma das vantagens do alumínio é a sua densidade ($2,7 \text{ g.cm}^{-3}$), que o torna um metal mais leve que o ferro (densidade de $7,3 \text{ g.cm}^{-3}$).^[10] Outra das vantagens é que o alumínio em contacto com o ar atmosférico reage com o mesmo, formando uma camada fina de óxido de alumínio, que não é tóxico e que protege a superfície da peça, passando assim a apresentar uma considerável resistência à corrosão. Consequentemente a sua aplicação, em estruturas com solicitações extremas de resistência à corrosão torna-se mais atractiva.^[8]

É importante salientar que o alumínio possui boa condutibilidade eléctrica e térmica. No entanto apresenta fraca resistência mecânica, o que levou ao desenvolvimento de ligas com vários elementos permitindo ultrapassar este problema, como é o caso da adição de cobre para melhorar a resistência mecânica ou de magnésio e zinco para melhorar a soldadura.^[8]

3.9. Preparação de superfícies

A preparação de superfícies, que inclui a limpeza e o pré-tratamento, é o passo mais importante de qualquer operação de revestimento. Para os revestimentos aderirem, a superfície deve estar livre de quaisquer óleos, produtos de corrosão e partículas. Os metais são limpos através do uso de solventes orgânicos ou químicos de base aquosa, ou ainda através de polimento, sopragem ou escovagem.^[11]

De modo a melhorar a aderência, os pré-tratamentos são aplicados após a limpeza e, no caso dos metais, os pré-tratamentos também promovem a resistência contra a corrosão.

3.9.1. Pré-tratamento multimetal de carroçarias de automóveis

O pré-tratamento das carroçarias automóveis, que são produzidas a partir de diferentes metais, é obrigatoriamente o estado-de-arte da protecção contra a corrosão e

promove uma melhor adesão para a electrodeposição de revestimentos. É um processo estabelecido e usado pela maior parte dos produtores de automóveis a nível mundial.^[12]

A fosfatação tricatiónica de zinco é o processo mais usado a nível mundial para efectuar o pré-tratamento de carroçarias multimetal. O processo engloba os seguintes estágios: desengorduramento, lavagem, activação, fosfatação, lavagem, passivação (que é opcional) e uma lavagem final com água desmineralizada.^[12]

Nos últimos anos, o processo de pré-tratamento tem sido adaptado a uma grande variedade de substratos. Estão a ser constantemente iniciadas novas modificações que tornem os processos melhores em termos de restrições ambientais e de factores económicos.^[12]

3.9.2. Condições/Contaminações de Superfícies

O *body-in-white*, termo que é utilizado para a carroçaria quando esta entra na linha, pode possuir as seguintes contaminações e/ou condições na superfície:^[12]

- óleos protectores contra a corrosão;
- óleos de lavagem;
- lubrificantes de filme seco;
- selantes e adesivos
- pré-camada de fosfato aplicada por *spray*;
- camada de fosfato de sódio amorfo
- revestimentos finos orgânicos
- contaminantes como marcas de giz, poeira, impressões digitais, marcas de dispositivos de manuseamento pneumático
- partículas de solda

3.9.3. Processo de pré-tratamento

O processo de pré-tratamento padrão para os componentes automóveis consiste nas seguintes seis operações:^[12]

- pré-desengorduramento (que é opcional)
- desengorduramento

- desoxidação
- activação
- fosfatação ou silanos
- passivação

Desgorduramento

O objectivo do desgorduramento é remover todo o tipo de contaminação da superfície metálica, de modo a conseguir uma superfície limpa com um filme contínuo de água.^[12]

São usados dois tipos de desgordurantes alcalinos, em pó ou líquidos. Os desgordurantes são compostos por sais inorgânicos, os *builders*, e sais orgânicos, os surfactantes. A função predominante do *builder* é remover os contaminantes inorgânicos e pigmentos, tais como, grãos de metal ou pérolas de soldagem. O objectivo do surfactante é remover óleos, lubrificantes, gorduras e outros contaminantes orgânicos.^[12]

Os principais *builders* usados em desgordurantes alcalinos são os seguintes:

- NaOH, KOH, Na₂CO₃, K₂CO₃ → mantêm a alcalinidade
- silicatos → removem as partículas, inibidores, tampões
- orthofosfatos → desgordurantes
- fosfatos condensados → desgordurantes, complexantes
- agentes complexantes → complexantes

Os surfactantes são classificados como aniónicos, catiónicos, não-iónicos e anfotéricos. Os surfactantes aniónicos contêm um grupo hidrofílico, um a cadeia longa de moléculas etóxi (EO) e/ou propóxi (PO), e um grupo hidrofóbico, que é tipicamente uma cadeia longa alquilo. No desgorduramento das carroçarias são normalmente usados surfactantes não aniónicos, devido à sua melhor conformidade com as regras ambientais. O mecanismo de remoção das partículas está representado na figura 8. Devido às suas características anfífilas, os surfactantes em solução reduzem as tensões interfaciais, adsorvem em interfaces sólidas e formam micelas. O mecanismo de remoção de óleo está representado na figura 9. Os surfactantes adsorvem primeiro na

superfície do óleo e depois tentam reduzir a tensão superficial, para remover as gotículas de óleo separadas na superfície.^[12]

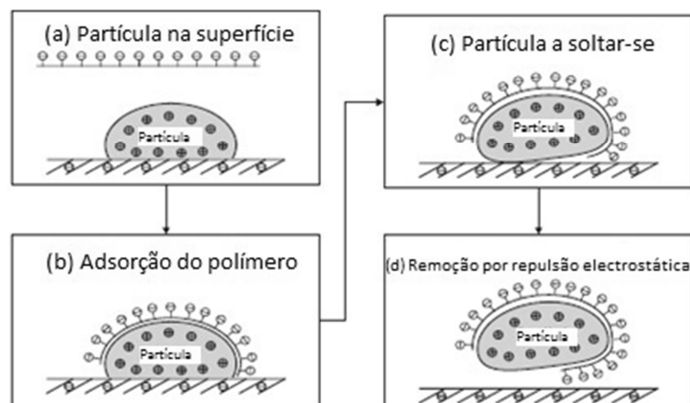


Figura 8 - Mecanismo de remoção de partículas das superfícies.

Fonte: Adaptado de Dössel, K., Streitberger, H. *Automotive Paints and Coatings*. VCH. 1995

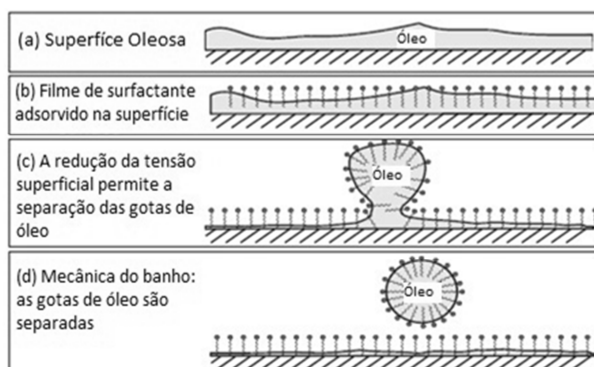


Figura 9 - Mecanismo de remoção de óleo da superfície.

Fonte: Adaptado de Dössel, K., Streitberger, H. *Automotive Paints and Coatings*. VCH. 1995

Desoxidação

Após a limpeza efectuada nos estágios de pré-desengorduramento e/ou desgorduramento, é necessário efectuar um tratamento que elimine, por acção química, as películas de óxidos ou de sais que se formam sobre as superfícies metálicas. As soluções utilizadas neste tipo de tratamento são ácidas, como por exemplo, ácido clorídrico, sulfúrico ou fosfórico.^[13]

A duração deste estágio, a concentração da solução e a temperatura de utilização dependem do metal a tratar. É necessário ter em conta, se os óxidos constituem uma incrustação espessa, dura e laminada, a acção do ácido deve ser enérgica e a sua concentração elevada.^[13]

O objectivo da desoxidação é o de “picar” a superfície metálica de modo a torná-la rugosa, facilitando assim a aderência do revestimento à superfície metálica.

Activação

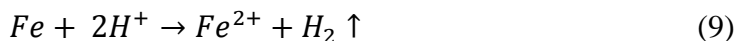
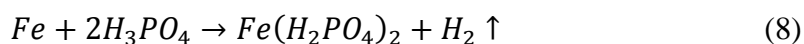
A activação aumenta o número de locais activos na superfície metálica. No caso da fosfatação, resulta num aumento do número de cristais fosfato por unidade de área de superfície e numa diminuição do peso de camada do revestimento aplicado. À medida que a superfície é uniformemente coberta com cristais, o tratamento de activação tem um efeito acelerador no processo de fosfatação.^[12]

Para a activação antes da fosfatação de zinco são normalmente usadas dispersões aquosas de *o*-fosfatos de titânio.^[12]

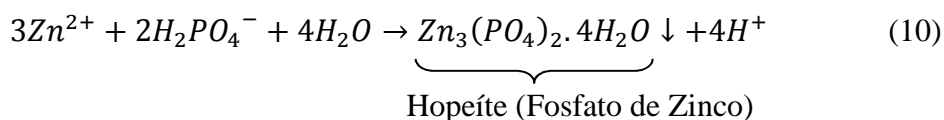
Fosfatação de zinco

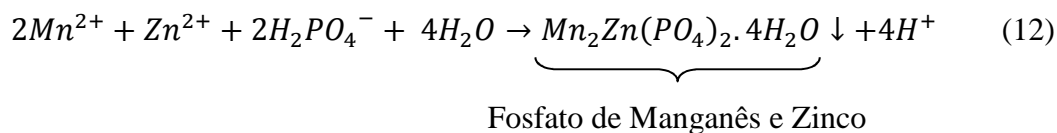
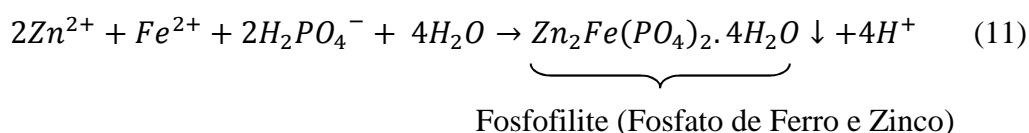
O passo inicial no tratamento de conversão é um *pickling attack* na superfície metálica feito pelo ácido fosfórico. A perda de massa das chapas de aço laminadas a frio, do aço revestido a zinco e do alumínio é geralmente 0,5 a 2 g.m⁻².^[12,14]

Reacção de Pickling



Formação da Camada





Formação de Lamas

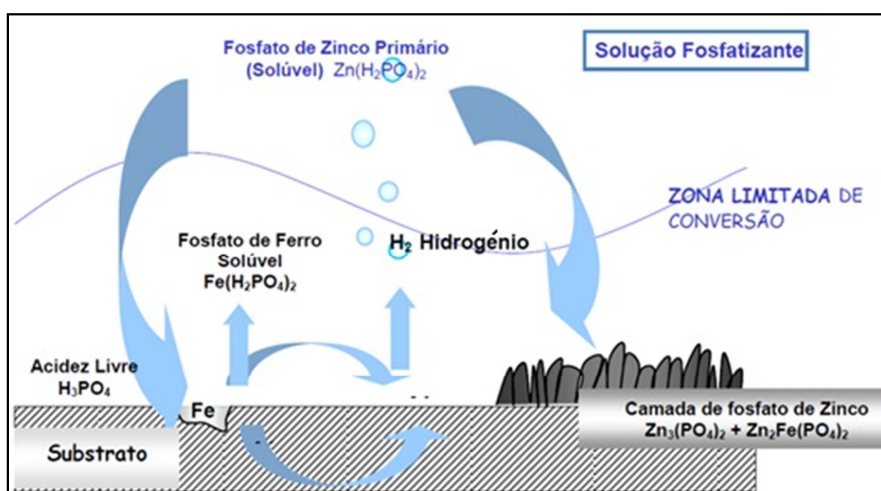
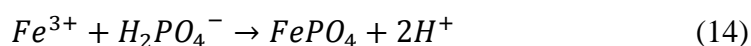
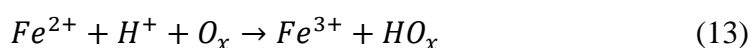
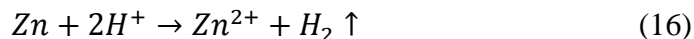
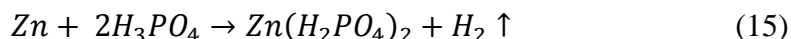


Figura 10 - Esquema do processo de fosfatação de superfícies de aço.

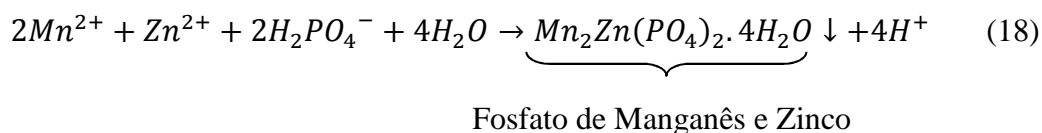
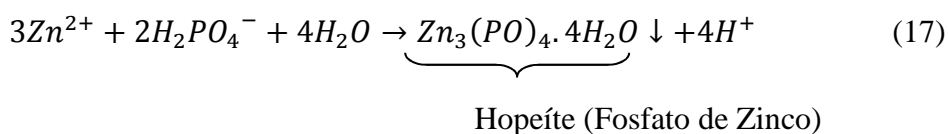
Fonte: Adaptado de Costa, M.V. *Revestimentos de Conversão – Fosfatização, Cromatização, Anodização*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

As reacções que ocorrem durante a fosfatação das superfícies de aço, zinco e alumínio são as equações 8 a 14, 15 a 18 e 19 a 25, respectivamente.

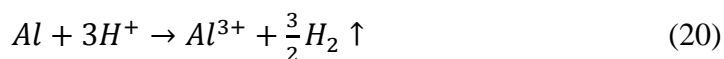
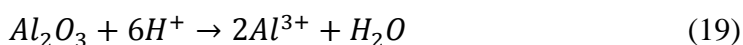
Reacção de Pickling



Formação da Camada



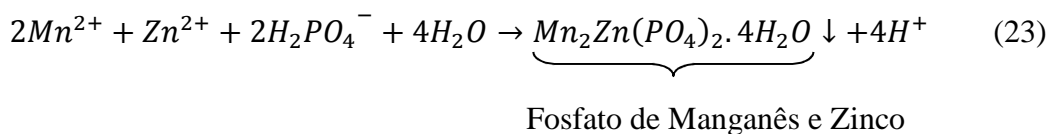
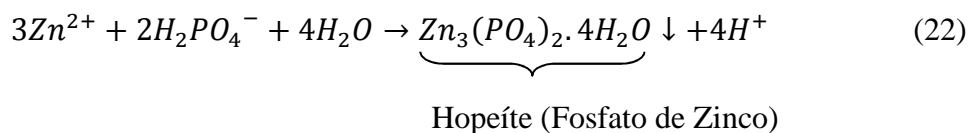
Reacção de Pickling



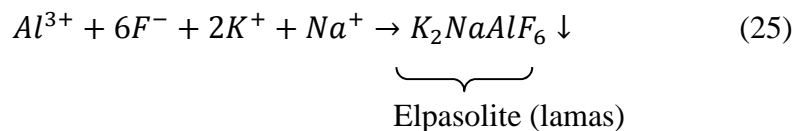
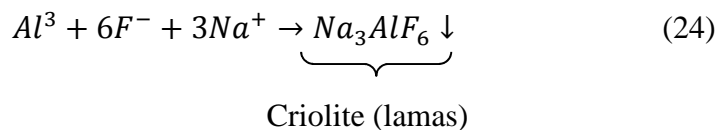
Formação do complexo



Formação da camada



Formação de Lamas



As fases cristalinas maioritárias produzidas pela fosfatação de zinco são a hopeíte e a fosfofilite. Os cristais de fosfato são isolantes eléctricos, mas contêm poros que constituem cerca de 1% da superfície. Esta é uma condição muito importante para a electrodeposição de revestimentos.^[12]

As lamas geradas durante o processo de fosfatação são removidas continuamente por técnicas de filtração, de modo a manter o rendimento do processo constante. São constituídas principalmente por fosfato férrico, mas podem conter outros fosfatos metálicos, devido à instabilidade do banho.^[15]

Na figura 11, encontram-se imagens capturadas através de microscopia electrónica de varrimento (SEM) de revestimentos de fosfato de zinco em superfícies de aço, zinco e alumínio. Como se pode observar a morfologia depende do tipo de substrato, contudo, os resultados de adesão de primários electrodepositados são semelhantes.^[12]

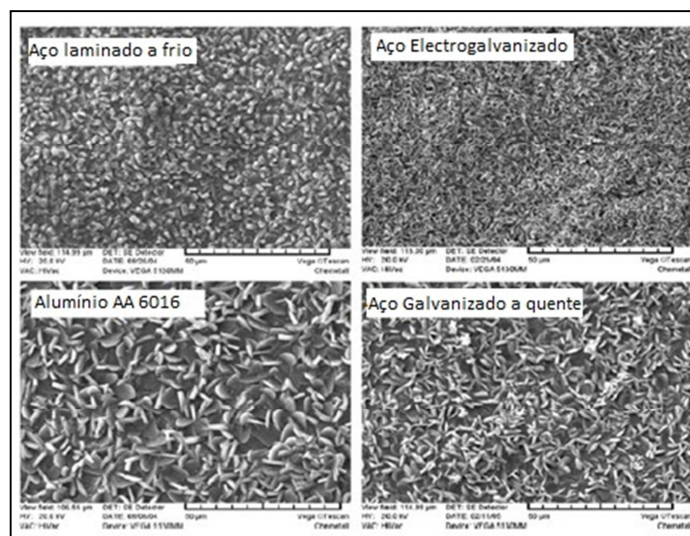


Figura 11 - Morfologia de cristais de zinco em diversas superfícies (Microscopia Electrónica de Varrimento - SEM).

Fonte: Adaptado de Dössel, K., Streitberger, H. *Automotive Paints and Coatings*. VCH. 1995

Passivação

Com o intuito de melhorar a resistência à corrosão de chapas de aço fosfatadas e revestidas, estas podem ser passivadas com crómio (VI), crómio (III) ou soluções isentas de crómio. Actualmente, o crómio hexavalente foi substituído por soluções à base de zircónio, devido à toxicidade associado aos compostos de crómio e ao facto de na indústria automóvel ser proibido. Embora o mecanismo de passivação com soluções à base de zircónio não esteja totalmente entendido, é geralmente aceite que a melhoria na protecção contra a corrosão está associada à redução do tamanho dos poros através da precipitação de compostos insolúveis, bem como a remoção de cristais de hidrogenofosfato da superfície da camada de fosfato através da solução ácida do agente passivante.^[12]

É um processo que tem como finalidade a selagem. É um complemento e ao mesmo tempo um nivelamento dos cristais da camada de fosfato. A passivação aumenta a resistência à corrosão das peças tratadas.^[15]

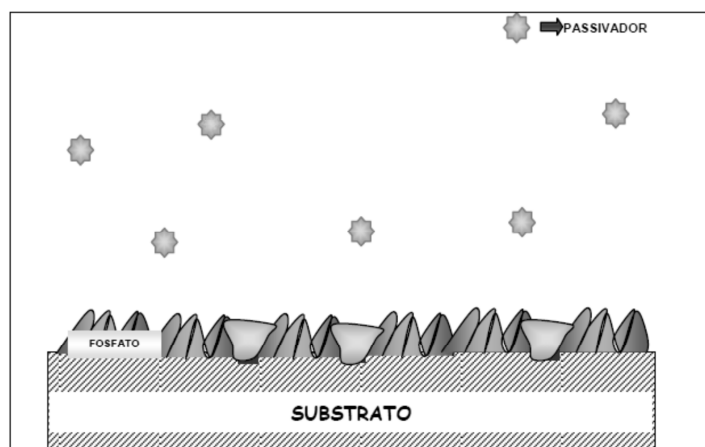


Figura 12 - Esquema que ilustra a finalidade da passivação.

Fonte: Adaptado de Costa, M.V. *Revestimentos de Conversão – Fosfatização, Cromatização, Anodização*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

Silanos

Os cromatos, os inibidores mais eficientes, terminaram a sua função no campo do controlo contra a corrosão devido à natureza tóxica e carcinogénica do crómio hexavalente (Cr(VI)). Por esta razão, um número de promissores candidatos, chamados “inibidores verdes”, foram explorados com a esperança de substituir os cromatos. De entre eles, os silanos, compostos químicos orgânicos-inorgânicos baseados em silício, tem vindo a emergir como alternativa promissora. Os silanos conseguem proteger efectivamente metais, como o alumínio e as suas ligas, o zinco e os aços revestidos a zinco, o cobre e as suas ligas, e o magnésio e as suas ligas, contra a corrosão. Além disso, os processos de pré-tratamento são simples e respeitam as questões ambientais.^[15-20]

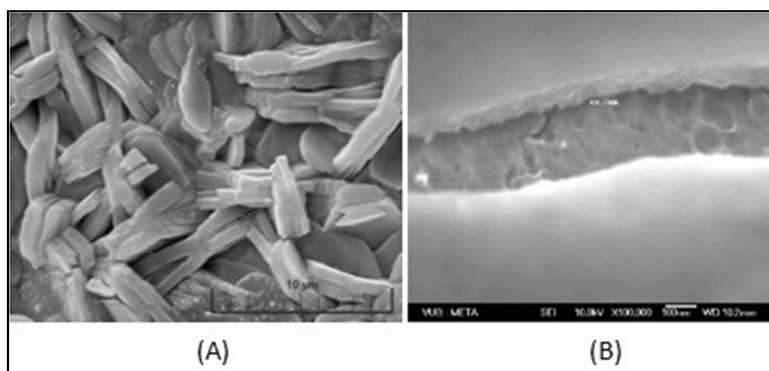
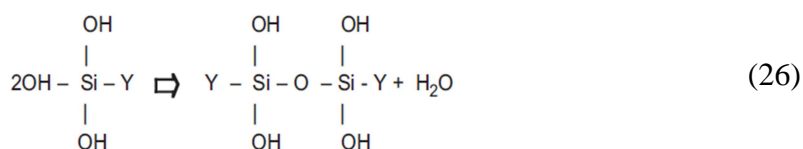


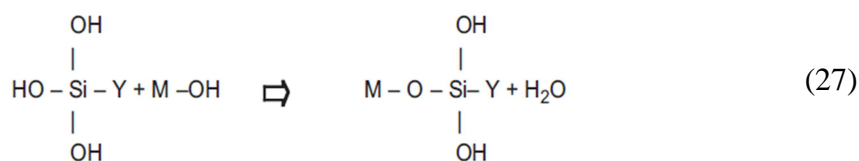
Figura 13 – Morfologia da camada de silanos. (A) – Microscopia de Varrimento Electrónico (SEM). (B) – Microscopia de emissão de campo (FEG-SEM)

Fonte: Brochura Chemetall – *Chemetall – Processos Tratamento*, 2010

Os silanos são moléculas bifuncionais com a fórmula geral $Y-Si(OR)_3$. A principal vantagem decorrente da sua utilização é a promoção da aderência entre materiais orgânicos (tintas) e inorgânicos (metais). O grupo tri-alcóxi $Si(OR)_3$ corresponde à extremidade sílico-funcional que, em presença da água, é hidrolisada para formar grupos silanol ($Si-OH$), originando moléculas de álcool. Os grupos silanol são consideravelmente reactivos e reagem entre eles por reacções de condensação (equação 26).^[16,17]



Os grupos silanol, para além das ligações entre si, permitem ligações com substratos inorgânicos, como metal e vidro. No caso do metal, que é o substrato em estudo, as moléculas silanol ligam-se aos óxidos presentes à superfície do metal através das ligações covalentes entre os grupos OH e o substrato constituindo assim, devido às consecutivas ligações, o filme de silano, uma camada uniforme que reveste o metal.^[16,17]



As ligações covalentes representadas por MOSi e SiOSi são responsáveis pela excelente ligação do filme de silano à superfície do metal. O grupo M é o metal e o grupo organo-funcional (Y) pode ser um grupo alquil, aril, vinil, amina, epóxi ou metacrilato. No caso do grupo Y ser um grupo alquil, a camada de silanos apresenta uma estrutura que se encontra representada da figura 14. ^[16,17]

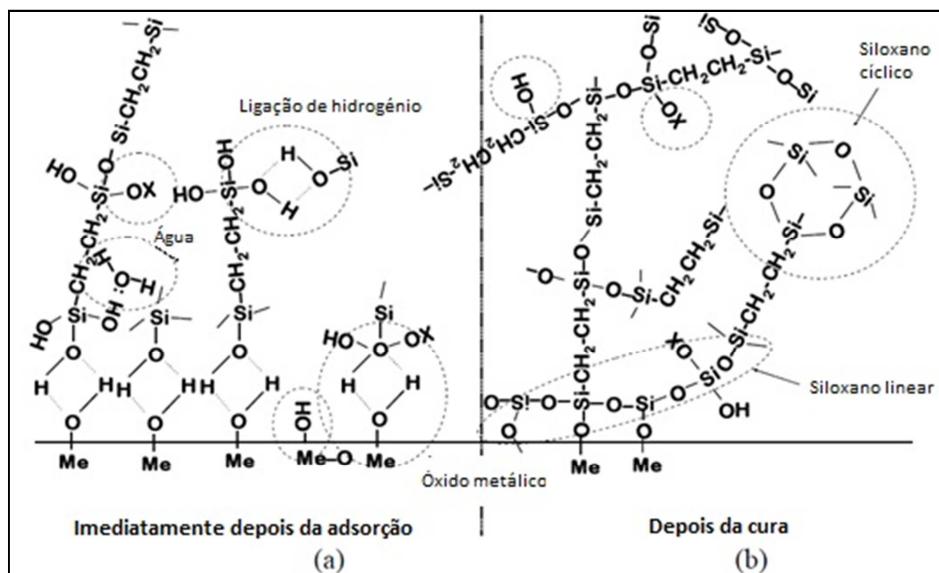


Figura 14 - Esquema simplificado do mecanismo de ligação entre as moléculas de silano e a camada de hidróxido do metal na superfície. (a) antes de condensação; (b) após a condensação

Fonte: Adaptado de Lamar, J.A., Ooij, W.J., Palanivel, V., Stacy, M. *Potencial of Silanes for Chromate Replacement in Metal Finishing Industries*. Department of Materials Science and Engineering of the University of Cincinnati, Ohio. Setembro de 2002.

Na figura 14 (a), as moléculas de silano são adsorvidas na superfície do metal através de ligações de hidrogénio formadas entre os grupos SiOH das moléculas de silano e MeOH dos grupos de hidróxidos metálicos. Após a condensação (figura 14 (b)) ambas as ligações covalentes MeOSi e SiOSi são formadas na interface, dando uma

excelente adesão ao substrato de metal, bem como uma interface de interacção hidrofóbica.^[17]

O tratamento com silanos promove a aderência entre o metal e o polímero; melhora o *wet-out* do metal pelo polímero, a dispersão do metal no polímero; as propriedades eléctricas, as propriedades mecânicas e reduz a viscosidade do enchimento/mistura de polímeros.^[21]

3.10. Pintura e Revestimentos

Quando se selecciona o material de construção de um componente para uma aplicação particular, devem ser tomados em conta vários factores, nomeadamente, as propriedades físicas e mecânicas do material, a sua resistência à corrosão e o seu custo. Muitas ligas têm sido desenvolvidas para resistir à corrosão, no entanto, o seu uso pode não ser viável do ponto de vista do custo, com base na aplicação específica. Com tintas e outros materiais de revestimento, podem ser usados materiais com as propriedades físicas e mecânicas necessárias e mais baratos, mas que podem não ter a resistência à corrosão desejada.

As estruturas de aço podem ser protegidas com a aplicação de um sistema de pintura apropriado. É importante seleccionar sistemas de pintura adequados para as aplicações específicas. Assim, como as ligas metálicas diferem na resistência à corrosão para os vários agentes corrosivos, também os sistemas de pintura e os revestimentos se comportam de modo diferente.

Os metais de construção são escolhidos devido às suas propriedades mecânicas e à facilidade de serem trabalhados a baixo custo, devendo ao mesmo tempo serem resistentes à corrosão. Essas propriedades raramente estão reunidas num único material. Esta é a oportunidade dos revestimentos, pois através da aplicação de um revestimento adequado, o substrato metálico com boas propriedades mecânicas pode ser utilizado enquanto que o revestimento fornece a protecção contra a corrosão. Noutros casos, os revestimentos são aplicados apenas para fins decorativos.^[11]

A maior parte dos revestimentos são aplicados nas superfícies externas para proteger o metal da corrosão atmosférica natural e da poluição atmosférica. Também pode ser necessário proteger contra salpicos ou derrames acidentais. Em alguns casos,

os revestimentos são aplicados internamente em vasos. Nestas circunstâncias, o material aplicado é normalmente referido como um forro. Basicamente existem quatro diferentes tipos de revestimentos (tabela 2).^[11]

Tabela 2 - Classificação dos revestimentos.

<u>Orgânicos</u>	<u>Inorgânicos</u>	<u>Conversão</u>	<u>Metálicos</u>
Fenólicos	Silicatos	Anodização	Galvanização
Acrílicos	Cerâmicos	Fosfatação	Difusão
Epóxis	Vidro	Cromagem	Deposição por vapor a vácuo
Alquídicos		Silanos	
Uretanos			
Vinílicos			

3.11. Princípios da protecção contra a corrosão

A maior parte dos metais usados na construção são inadequados quando expostos à atmosfera. Estes metais são produzidos através da redução provocada dos minérios, portanto, eles irão retornar à sua forma inicial combinada (minérios) ou a compostos metálicos similares, quando expostos à atmosfera. Através da aplicação de um revestimento, é necessário um maior período de tempo que ocorra o processo de oxidação sobre o substrato (figura 15). Assim, é importante que o material de revestimento seja adequado para a aplicação num dado ambiente específico.^[11]

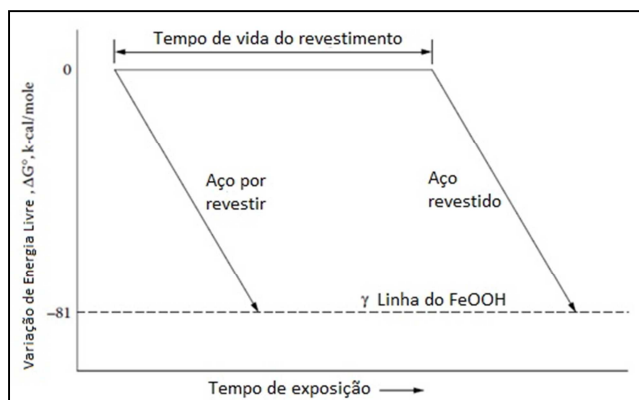


Figura 15 - Papel do revestimento resistente à corrosão.

Fonte: Adaptado de Schweitzer, P. A. *Paint and Coatings – Applications and Corrosion Resistance*. CRC Press, Estados Unidos da América, 2006

Para o revestimento ser eficaz, deverá isolar o material base do ambiente. A vida útil do revestimento dependerá da sua espessura e propriedades químicas. Esta última determina a durabilidade de um material de revestimento num ambiente específico, ou seja, determina a resistência à corrosão de um revestimento metálico ou a estabilidade dos revestimento orgânico ou inorgânico. Para ser eficaz, a durabilidade do revestimento deve ser maior do que a do metal base ou ser mantida por outros meios. Além disso, um revestimento é muitas vezes necessário para proteger o metal dos seus poros e *cracks* originais ou de um defeito que pode ter resultado da maquinação do material.^[11]

3.11.1. Teoria de Adesão

Independentemente das excelentes propriedades que o revestimento possa possuir, este é inútil a menos que tenha boa aderência. A resistência do revestimento às intempéries, aos químicos, aos riscos, ao impacto ou ao *stress* é apenas importante enquanto o revestimento permanece sobre o substrato.^[22] Assim, o conhecimento sobre a adesão de revestimentos poliméricos é importante. Sem contar com os revestimentos temporários ou removíveis, todos os outros tipos de revestimentos devem aderir ao substrato de modo a proporcionar a protecção e/ou decoração desejada.

A adesão é um fenómeno complexo relacionado com efeitos físicos e reacções químicas na interface substrato metálico-revestimento. O mecanismo segundo o qual a adesão ocorre ainda não está totalmente compreendido. Foram propostas algumas teorias para explicar este fenómeno, incluindo fixação mecânica, atracção electrostática, ligação química e difusão de pintura. Baseado no revestimento usado e na física e química da superfície do substrato, um ou a combinação de vários desses mecanismos poderão estar envolvidos.^[11,23-24]

3.11.2. Ligação mecânica

Quando a superfície de um substrato metálico contém poros, orifícios, fendas e espaços em que o revestimento se espalha e solidifica, é formada uma ligação metálica. Ao fazê-lo, o revestimento actua como uma âncora metálica. A remoção do revestimento é mais difícil, se o substrato possuir áreas anteriormente revestidas que são preenchidas com o revestimento já curado. A figura 16 ilustra esta ligação mecânica.

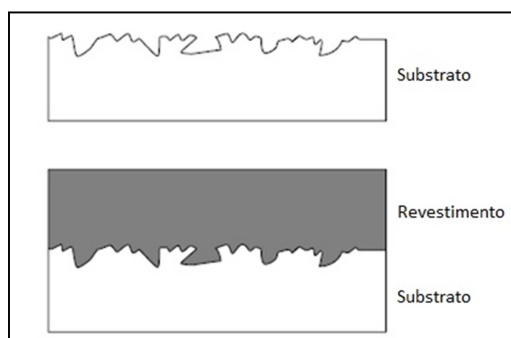


Figura 16 - Ilustração esquemática da ligação mecânica.

Fonte: Adaptado de Schweitzer, P. A. *Paint and Coatings – Applications and Corrosion Resistance*. CRC Press, Estados Unidos da América, 2006

A adesão de um revestimento é melhorada pela rugosidade da superfície.^[23] Se a superfície for lixada, observa-se um aumento da área de adesão de cerca de cinco vezes. Devido a outros factores, a adesão poderá não aumentar na mesma proporção. A vantagem da rugosidade da superfície só é obtida se o revestimento penetrar completamente em todas as irregularidades da superfície. Se a penetração total não for

alcançada, então o contacto revestimento-substrato metálico é menor que a correspondente área geométrica. Isso vai deixar espaços vazios entre o revestimento e o substrato metálico, resultando assim em bolhas de ar retidas. As bolhas de ar retidas nas fendas irão permitir a acumulação de humidade, resultando numa eventual perda de aderência.^[11,24-26]

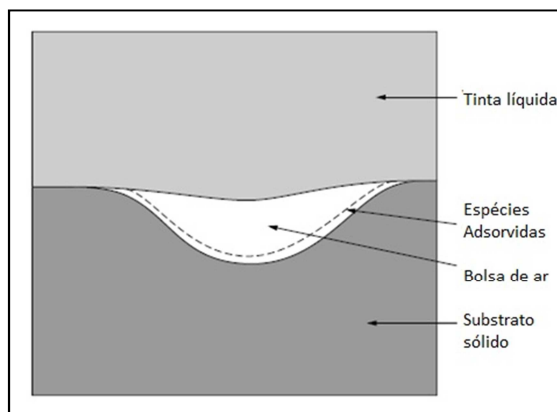


Figura 17 - Ar aprisionado numa depressão.

Fonte: Adaptado de Schweitzer, P. A. *Paint and Coatings – Applications and Corrosion Resistance*. CRC Press, Estados Unidos da América, 2006

Os substratos metálicos estão sujeitos a pré-tratamentos que podem não só alterar a composição química da superfície, mas também produzir *interlocking surface sites*. Um exemplo desses pré-tratamentos é a fosfatação do aço laminado a frio, que produz numerosas plaquetas entrelaçadas de cristais de fosfato à superfície. Os espaços entre as plaquetas produzem inúmeros *interlocking surface sites*.^[11]

3.11.3. Interação electrostática

As forças electrostáticas, na forma de uma dupla camada eléctrica, podem eventualmente ocorrer na interface revestimento/superfície metálica. Tanto os revestimentos como as superfícies metálica contêm cargas eléctricas espalhadas por todo o sistema que providenciam grande parte da atracção entre o revestimento e a superfície metálica. A interacção entre essas cargas pode ser responsável por alguma da

adesão. Tais interacções só são eficazes a curta distância, sendo, significativas até cerca de 0,5 mm de intervalo, e por isso, a necessidade de contacto próximo entre o revestimento e a superfície metálica torna-se óbvia.^[11,24]

3.11.4. Ligação química

A formação de ligações químicas na interface ocorre muito provavelmente em revestimentos termoendurecíveis. É esperado que essa ligação seja a mais forte e mais duradoura. Para que isto ocorra, é necessário que existam grupos quimicamente reactivos no substrato metálico e no revestimento que se liguem fortemente.^[11]

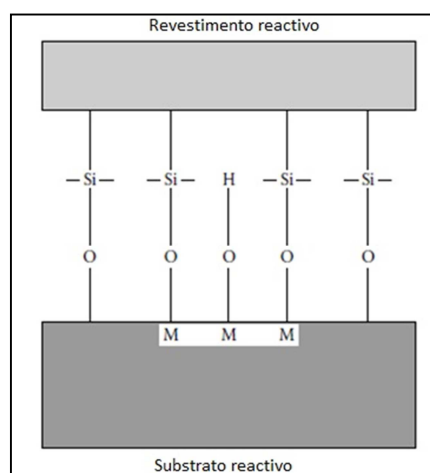


Figura 18 – Representação esquemática da reacção de um silano com um substrato reactivo.

Fonte: Adaptado de Schweitzer, P. A. *Paint and Coatings – Applications and Corrosion Resistance*. CRC Press, Estados Unidos da América, 2006

A figura 18 ilustra vários tipos de ligações químicas que podem ocorrer entre um revestimentos e um substrato particular. Os organo-silanos são largamente usados com primários em fibras de vidro para promover a adesão entre a resina e o vidro nos plásticos de fibra de vidro reforçados. Também são usados como primários para promover a adesão de resinas a minerais, metais e plásticos. Durante a aplicação, os grupos silanol são produzidos e reagem com outros grupos silanol na superfície do vidro, ou eventualmente, com os óxidos metálicos para formar fortes ligações éter.^[11]

3.12. Electrodeposição

O princípio físico fundamental de electrodeposição é que materiais com cargas eléctricas opostas se atraem. A técnica da electrodeposição aplica uma corrente contínua numa peça metálica imersa num banho de partículas de tinta com carga oposta. As partículas de tinta são atraídas pela peça metálica e a tinta é depositada na peça formando uma película uniforme sobre superfície, cavidades e cantos, até a camada atingir uma espessura desejada (entre 15-35 μm). Atingida essa espessura, a película isola a peça, a atracção é interrompida e a electrodeposição é concluída. Dependendo da polaridade da carga, a electrodeposição é classificada como anódica (anforese) ou catódica (cataforese).^[7,13,27-32]

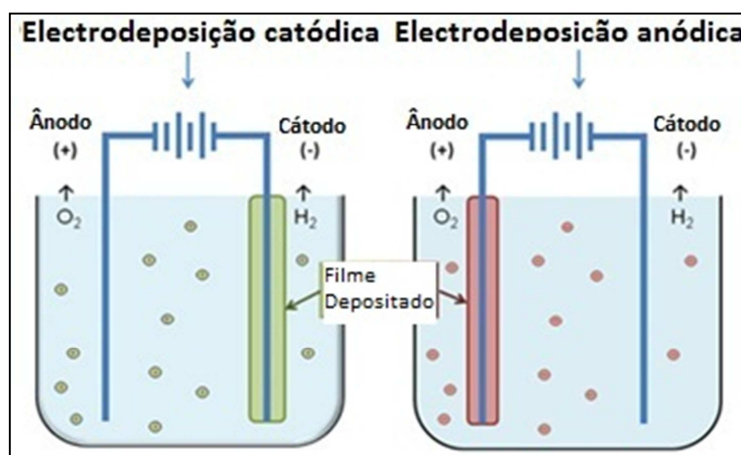


Figura 19 – Esquema da electrodeposição anódica e catódica.

Fonte: Adaptado de *Electrocoatings Basics* (<http://www.ppg.com/coatings/electrocoat/process/Pages/default.aspx>, acedido em 28 de Março de 2011)

3.12.1. História da electrodeposição

A tecnologia da electrodeposição não é nova. A primeira adaptação foi o aparecimento do processo de galvanização, onde um revestimento inorgânico é electrodepositado sobre metal. As primeiras referências a aplicações de electrodeposição de partículas datam de 1809, tendo sido patenteado em 1936 um

processo de revestimento no interior de tubos, por pintura electroforética. No sector automóvel, foi G. Brewer que, em 1957, na *Ford Motor Company*, tentando resolver o problema da intensa corrosão das áreas dos automóveis inacessíveis à pintura tradicional comparativamente às restantes áreas, desenvolveu o primeiro procedimento de pintura por electrodeposição. No início da década de 60 surgem as primeiras linhas industriais, primeiro na *Ford* (revestimentos de jantes em 1961 e de depósitos em 1963), e logo em seguida na *Pressed Steel Company* (revestimentos de tanques de combustível), na sua fábrica em Oxford. A aplicação, de electrodeposição anódica, a carroçarias e componentes automóvel, tais como jantes, foi patenteada nos EUA pela *Ford Motor Company* em 1963.^[7,8,31,33]

Só em 1972 se verificou o registo da primeira patente de electrodeposição catódica, pela *Pittsburgh Plate Glass Company*, para aplicação de primários para electrodomésticos. Este processo alternativo começou a ser aplicado na indústria automóvel em 1976 nos EUA e em 1978 na Europa, com o objectivo de incrementar a resistência à corrosão e a facilidade de acesso da tinta ao interior dos corpos ocos. Apresenta como principal vantagem a de não conduzir à dissolução do metal ou da camada de fosfatação, em contraste com o que ocorria no processo anódico. Contudo, alguns investigadores têm encontrado iões metálicos em películas obtidas catodicamente.^[7,8,31,33]

Em consequência dos melhores níveis de protecção anti-corrosiva obtidos com a cataforese, esta tecnologia foi substituindo progressivamente a anaforese, tendo já em 1981, nos EUA cerca de 90% dos tanques de anaforese sido transformados em tanques de cataforese. Tal transformação foi-se verificando progressivamente na Europa e no Japão, podendo considerar-se que, actualmente, no Sector Automóvel a anaforese deixou de ter expressão significativa.^[7,8,31,33]

Em Portugal a anaforese, que havia começado a ser utilizada na pintura de carroçarias automóvel no Entrepósito em Setúbal, só começou a dar lugar ao processo cataforético em 1982, primeiro na *Ford Lusitana* na Azambuja e depois na *Renault Portuguesa*, logo seguidas pela *General Motors*, na Azambuja.^[7,8]

Actualmente a cataforese é utilizada quase generalizadamente pelo sector automóvel, não só para revestir componentes, como e muito especialmente, para revestir carroçarias.

O processo de cataforese “clássico”, também dito de baixa espessura conduz a espessuras de revestimento seco na ordem dos 15-20 μm . Actualmente, usando processos especiais ditos de alta espessura, podem obter-se películas de 50 μm de espessura, sem comprometer significativamente o poder de penetração. Os produtos usados neste último processo reduzem a tendência para a formação de grânulos e melhoram o poder de nivelamento da rugosidade da chapa. O primeiro banho de cataforese recorrendo a este novo tipo de produtos foi usado pela *General Motors* em 1981. [7,8,13,31,33]

Pelas suas excelentes características de aplicabilidade, automação, resistência à corrosão e emissões reduzidas para a atmosfera entre outras, as aplicações desta tecnologia não cessam de aumentar. Também se verifica uma evolução dos produtos usados nos banhos cataforéticos e nas tecnologias de aplicação, na busca de optimização dos resultados práticos ao mais baixo custo, da diminuição da utilização de compostos orgânicos voláteis (COV's) e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HAP's), de menores níveis de metais pesados e de maior resistência à degradação da luz ultravioleta. [7,8,35]

3.12.2. Princípios fundamentais

Os objectos a revestir tanto podem funcionar com o ânodo ou como o cátodo, consoante se verifica o primeiro ou o segundo caso, assim os processos são conhecidos por electrodeposição anódica ou anaforese, ou electrodeposição catódica ou cataforese. A anaforese começou inicialmente por ser a mais utilizada, mas apresentava um inconveniente: a dissolução parcial do metal e da camada de fosfatação. Então, foi sendo substituída pela cataforese que não apresenta este inconveniente. Esta é ainda utilizada actualmente devido às vantagens que apresenta. [7,8,13,28,34]

O processo de electrodeposição catódica é um processo complexo, que resulta do movimento de partículas coloidais carregadas electricamente, em direcção aos eléctrodos de uma carga contrária num campo eléctrico pré-estabelecido e envolve o

estabelecimento de ligações locais entre os grupos activos das moléculas de tinta e a superfície do substrato a revestir.^[7]

A peça a revestir é o cátodo no circuito. Sob o efeito de uma diferença de potencial cria-se um campo eléctrico cuja intensidade está relacionada com a diferença de potencial pela Lei de Ohm. Como a tensão aplicada (expressa em volt, V) é constante, a intensidade de corrente atinge um valor I_0 (expresso em ampere, A) e a resistência (expressa em ohm, Ω) é a tinta líquida situada entre os eléctrodos^[7]

$$I_0 = \frac{V}{R} \quad (28)$$

Esta resistência R é directamente proporcional à resistividade do banho (ρ) e à distância que separa o ânodo do cátodo (l)

$$R = \rho \times l \quad (29)$$

O campo eléctrico aplicado leva à deposição da tinta sobre o cátodo. Normalmente, o primário contido no tanque onde se mergulha a peça a ser revestida tem 77- 84% de água, 15-22% de partículas sólidas de tinta e menos de 1% de solvente. Ao se aplicar um potencial eléctrico, deposita-se um filme na peça a revestir que contém 75-90% das partículas sólidas de tinta contida no tanque. A electrodeposição ocorre até o revestimento ter espessura suficiente para actuar como uma resistência, como se pode observar pelos gráficos da figura 20. Assim que esta ocorre, as superfícies interiores remotas começam a aumentar a intensidade de corrente. O processo está completo assim que todas as superfícies estiverem revestidas.^[7]

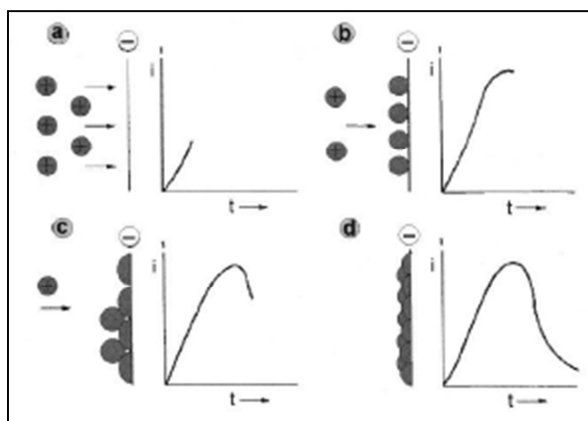


Figura 20 - Fases de deposição de uma tinta durante a cataforese.

Fonte: Adaptado de Carreira, D., Ramos, J. *Protecção Anticorrosiva na Indústria Automóvel*. Departamento de Engenharia de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro. Maio de 2008

3.12.3. Características das Tintas Usadas em Cataforese

As tintas utilizadas nesta tecnologia são bastante complexas e heterogéneas e são normalmente constituídas por uma resina base (de baixa massa molecular e portadora de funções iónicas) que assegura a coesão e a aderência da película formada sobre o substrato metálico, um agente solubilizante para tornar a resina solúvel ou dispersível em água, um pigmento e cargas introduzidas no ligante, solventes e aditivos.^[7]

A resina é insolúvel em água, contendo amino ou amónios terciários e torna-se solúvel mediante a sua neutralização com ácidos orgânicos fracos tais como o fórmico, acético ou outro:^[7]



Quando ocorre a electrólise da água formam-se iões hidroxilo e as partículas de tinta carregadas positivamente migram para o cátodo^[7]

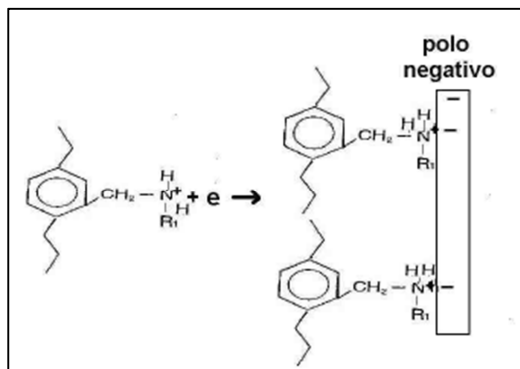


Figura 21 – Esquema da deposição das aminas protonizadas na superfície metálica catódica.

Fonte: Adaptado de Mainier, F.B., Villas, M. R. A. *Processo de deposição de tintas catódicas por eletroforese e suas correlações com a qualidade e o meio ambiente*. II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT'2005.

A consequente elevação do pH provoca a coagulação da resina no cátodo, originando o revestimento cataforético.^[7]



Para além das características gerais de comportamento exigidas à maior parte das tintas (aderência, dureza, flexibilidade, poder de cobertura, resistência aos agentes corrosivos, etc.) estas têm também de possuir as seguintes características:^[7,8]

- ser solúvel ou dispersível em água;
- estabilizar suspensões de pigmentos, coagular no cátodo e formar uma película húmida
- tão macia e regular quanto possível, densa e isolante que contenha os pigmentos numa razão pigmento/ligante o mais próximo possível da do banho.

- deve depositar-se em toda a superfície incluindo o completo acesso a todas as zonas ocas e/ou de difícil acesso (poder de penetração);
- conduzir a películas que se tornem quase instantaneamente hidrófobas, para que possam ser lavadas sem re-dispersar
- ser mecânica e quimicamente estável à cura. A temperatura de cura deve ser o mais baixa possível, e as películas não devem ser sensíveis às gotas de água remanescentes da cura.

3.12.4. Controlo do Banho e do Revestimento

Existem alguns factores a ter em consideração num banho de cataforese. O pH deve estar entre 5,7 e 6,0 a 25 °C. Se o pH for demasiado elevado, o ligante pode coagular e se for muito baixo pode provocar a re-dissolução da película electrodepositada ou o aparecimento de defeitos (bicos de alfinete) no revestimento.^[7,31]

O extracto seco, que é a massa sólida de película obtida após eliminação total dos solventes e diluentes, deve situar-se entre 18 a 22% num processo cataforético clássico. Este influencia a espessura da camada obtida, crescendo na razão directa da mesma.^[7,31]

A condutividade (ou resistividade) deve ser controlada, pois esta grandeza está relacionada com as propriedades eléctricas do banho, que são fundamentais para a deposição do revestimento.^[7,31]

A relação pigmento/ligante (teor de sólidos/teor de cinzas) deve ser mantida usualmente entre 0,12 e 0,15. Um teor demasiado elevado de pigmentos origina crateras, um teor demasiado baixo origina uma película com aspecto grosseiro e com menor resistência à corrosão. Um exemplo destes defeitos pode ser observado na figura 22.^[7,31]

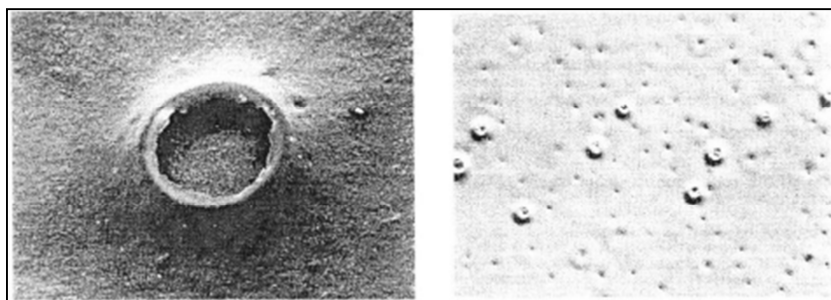


Figura 22 - Defeitos de pintura cataforética (esquerda) e bicos de alfinete e crateras (direita).

Fonte: Adaptado de Carreira, D., Ramos, J. *Protecção Anticorrosiva na Indústria Automóvel*. Departamento de Engenharia de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro. Maio de 2008

A tensão aplicada é o factor mais importante. Esta deve ser mantida no valor adequado pois a sua variação afecta a espessura do revestimento. Se houver um aumento muito brusco pode originar a ruptura do revestimento e formação de bolhas, por excesso de libertação gasosa através da película. Tem de ser seleccionado um valor máximo de tensão para permitir um revestimento sem defeitos, pois só nestas condições se obtém uma película com a espessura desejada. A influência da tensão sobre a espessura pode ser visualizada graficamente na figura 23. No entanto este valor não pode ser superior a um determinado valor de tensão a partir do qual origina defeitos no revestimento.^[7]

Outros factores importantes a controlar são a eficiência eléctrica do banho, as condições de lavagem e a temperatura de polimerização.^[7]

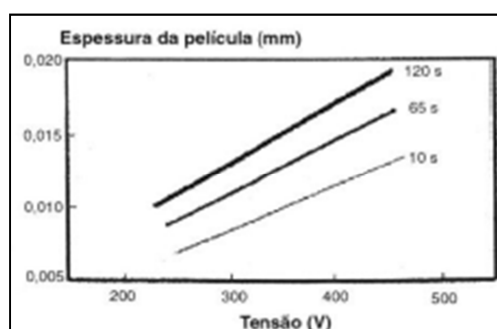


Figura 23 - Influência da tensão na espessura de um película cataforética depositada.

Fonte: Adaptado de Carreira, D., Ramos, J. *Protecção Anticorrosiva na Indústria Automóvel*. Departamento de Engenharia de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro. Maio de 2008

3.13. Normalização

A normalização é a actividade destinada a estabelecer, face a problemas reais ou potenciais, disposições para a utilização comum e repetida, tendo em vista a obtenção do grau óptimo de ordem, num determinado contexto. A normalização busca a definição, a unificação e a simplificação, de forma racional, quer dos produtos acabados, quer dos elementos que se empregam para os produzir, através do estabelecimento de documentos chamadas normas.

3.13.1. Norma

A NP EN 45020:2001 define norma como um documento, estabelecido por consenso e aprovado por um organismo de normalização reconhecido, que define regras, linhas de orientação ou características para actividades ou seus resultados, destinadas à utilização comum e repetida, visando atingir um grau óptimo de ordem, num dado contexto. As normas deverão ser baseadas nos resultados consolidados da ciência, da tecnologia e da experiência, visando a optimização de benefícios para a comunidade. Deve registar-se que, embora, normalmente, a sua aplicação não seja obrigatória, as normas têm hoje um papel relevante nas relações industriais e comerciais. A utilização de uma marca de conformidade com as normas dá, aos consumidores, uma determinada garantia de qualidade dos respectivos bens ou serviços.

A indústria automóvel é reconhecida pela exigência e competitividade, exigindo assim o cumprimento de várias normas na realização de ensaios, de modo a poder-se concluir como estão a decorrer os processos de tratamento e de revestimento.^[36-38]

De acordo com o equipamento existente no laboratório e com a exigência do cliente, os ensaios realizados, que serão descritos no próximo capítulo, basearam-se nas normas referidas na tabela 3.

Tabela 3 - Normalização dos ensaios realizados.

<u>Ensaio</u>	<u>Norma</u>
Espessura	GME 00202
Aderência – método por quadrícula	DIN EN ISO 2409
Resistência à condensação e humidade constante	DIN EN ISO 2409/ DIN 53 209
Resistência ao nevoeiro salino	DIN EN ISO 9227
Resistência ao ensaio fervente	DIN 53 209/Qualicoat
Perda de massa	DIN 50 939

4. Procedimento experimental

4.1. Material Usado

Os sensores de estacionamento são dispositivos de segurança, normalmente instalados nos pára-choques de um veículo, servindo automaticamente para detectar a distância de outros veículos ou obstáculos. Um acessório útil no momento de estacionar, que tem como objectivo ajudar a evitar colisões. O funcionamento do sensor de estacionamento é simples: à medida que o veículo se aproxima de outro obstáculo, o sensor mede a distância pela emissão e captação do retorno de sinais de rádio, parecido com um sonar, sinalizando a aproximação com sinais sonoros para o condutor.

As membranas são uma espécie de capa para os sensores ultra-sónicos, que são utilizados em sistemas de ajuda de estacionamento, entre outras coisas. Os sistemas de auxílio de estacionamento são utilizados para a detecção de obstáculos (postes, árvores, floreiras, etc.) e, simultaneamente, proporcionar ao condutor uma informação óptica/acústica.

As superfícies de pintura decorativa destas membranas são a superfície externa da membrana e uma parte da superfície frontal radial. A superfície da membrana e a superfície revestida devem atender às exigências relativas à qualidade da aparência óptica dos revestimentos decorativos exteriores em aplicações automóveis exteriores após a pintura líquida.

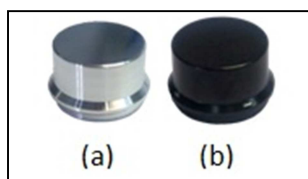


Figura 24 – Membrana virgem (a) e membrana com revestimento cataforético (b).

A composição química das membranas de alumínio encontra-se resumida na tabela 4 em conformidade com a norma EN 10204.

Tabela 4 – Composição química do alumínio das membranas.

Material	Composição em massa (%)							
	Cobre	Magnésio	Silício	Manganês	Ferro	Zinco	Crómio	Titânio
EN AW-6082	0,10	0,600 a 1,200	0,700 a 1,300	0,400 a 1,000	0,500	0,200	0,250	0,100

Também foram utilizados provetes de alumínio com as dimensões 140x70 mm, cuja sua composição química está descrita na tabela 5.

Tabela 5 - Composição química do alumínio dos provetes

Composição em massa (%)							
Alumínio	Silício	Ferro	Cobre	Manganês	Crómio	Zinco	Titânio
99,54	0,10	0,28	0,02	0,03	<0,01	0,01	0,01



Figura 25 – Provete de alumínio.

4.2. Fluxograma do Processo

O presente trabalho foi realizado recorrendo a 5 linhas existentes nas instalações, de modo a ser feita uma comparação dos vários tipos de pré-tratamentos em relação ao aspecto final e aos testes laboratoriais da peça. De seguida são apresentados os percursos efectuados pelas peças, desde a sua montagem no bastidor (figuras 26, 27 e 28) até à fase final, seguindo-se a inspecção de defeitos. Estes percursos estão sob a forma de diagrama.

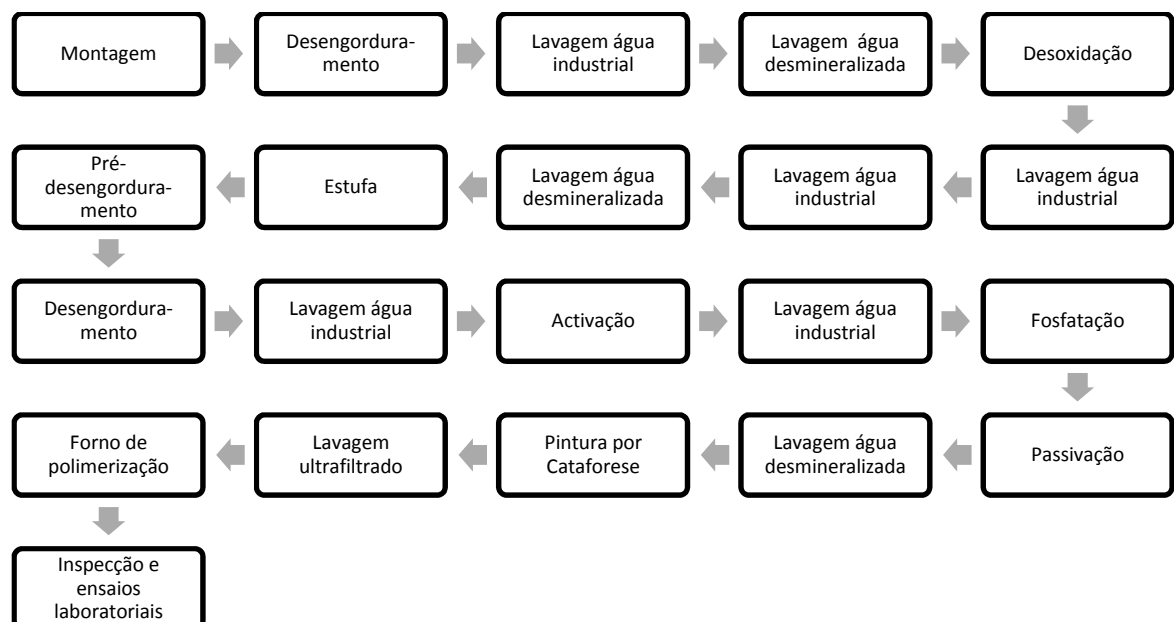


Figura 26 – Fluxograma do processo da linha de desgorduramento/desoxidação e da cataforese.

Optimização dos parâmetros da linha de desengorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de estacionamento – Mestrado em Química Tecnológica

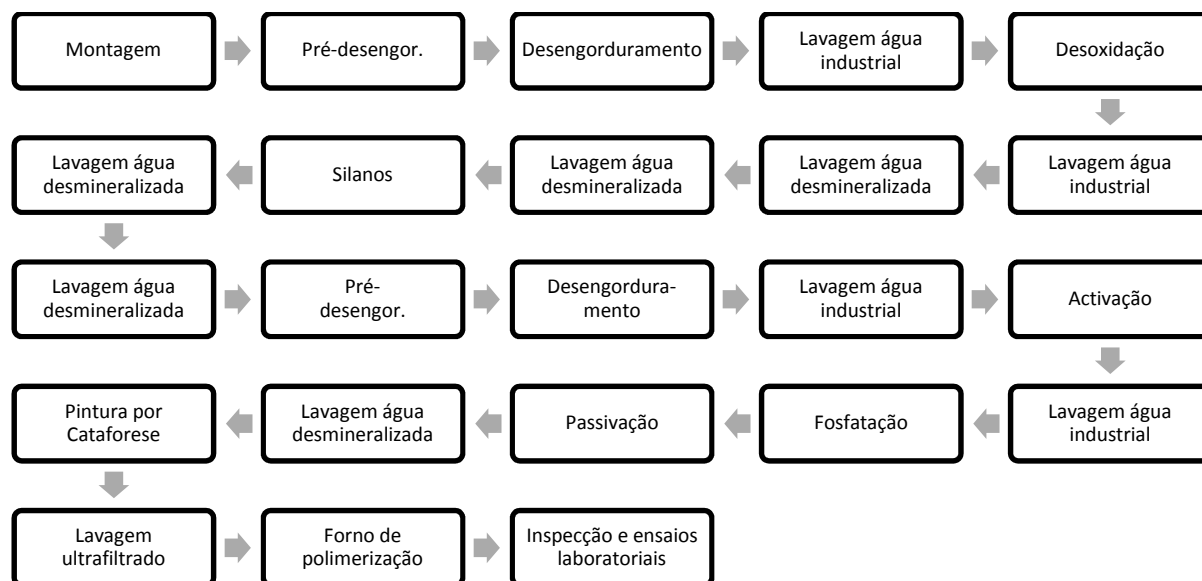


Figura 27 - Fluxograma do processo referente à linha de pintura líquida (linha 4) e à cataforese.

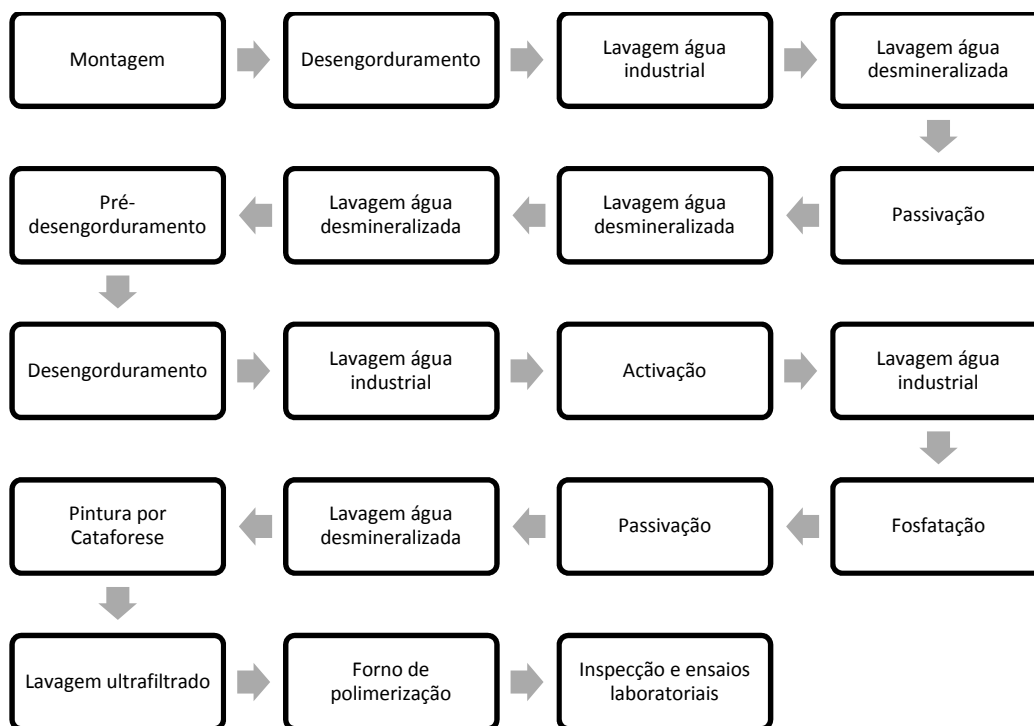


Figura 28 - Fluxograma do processo referente à linha de pintura a pó (linha 1) e à cataforese.

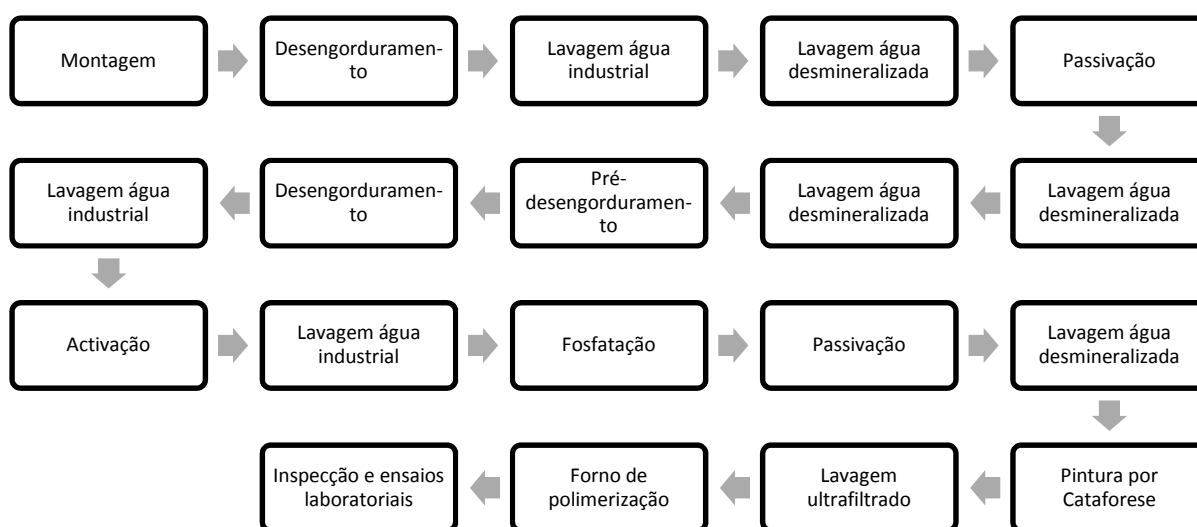


Figura 29 - Fluxograma do processo referente à linha de pintura a pó (linha 2) e à cataforese.

4.3. Esquemas de pré-tratamento químico em estudo

Para a realização do estudo dos vários pré-tratamentos químicos/pintura cataforética, realizaram-se 16 esquemas. Estes 16 esquemas incluíam as 5 linhas (linha de desgorduramento/desoxidação, linha 1, linha 2, linha 4 e linha de cataforese). Simulou-se o pré-tratamento por aspersão e imersão nas linhas 1, 2 e 4. Nos esquemas tratados por aspersão, foi aplicada a camada de conversão correspondente a cada linha, silanos na linha 1 e 4 e um passivante na linha 2. Os esquemas em estudo encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 – Esquemas de pré-tratamento estudados.

Esquema	Linha	Aspersão /Imersão	Silanos	Passivante	Fosfato	Pintura Cataforética
1	Deseng./desox.	Imersão			X	X
2	Deseng./desox.	Imersão				X
3	1	Aspersão	X		X	X
4	1	Imersão			X	X
5	1	Aspersão	X			X

Esquema	Linha	Aspersão /Imersão	Silanos	Passivante	Fosfato	Pintura Cataforética
6	1	Imersão			X	X
7	2	Aspersão		X	X	X
8	2	Imersão			X	X
9	2	Aspersão		X		X
10	2	Imersão				X
11	4	Imersão			X	X
12	4	Aspersão	X		X	X
13	4	Imersão				X
14	4	Aspersão	X		X	X
15	Cataforese	Aspersão/ Imersão			X	X
16	Cataforese					X

4.4. Caracterização dos produtos utilizados

A informação referente às principais características dos produtos utilizados nos vários pré-tratamentos encontra-se descrita no anexo III. É de salientar que as informações apresentadas foram retiradas das fichas técnicas que acompanham cada produto. Devido à confidencialidade do nome dos produtos optou-se pela codificação dos mesmos através de letras.

4.5. Metodologias de trabalho internas

As análises das concentrações dos banhos da linha de desgorduramento/desoxidação foram executadas de acordo com os métodos de trabalho internos existentes. Estes métodos estão descritos mais detalhadamente no anexo II.

Em relação às análises das concentrações dos banhos das linhas 1, 2 e 4, estas foram realizadas pelos operadores de controlo de banhos.

4.6. Metodologias Experimentais

Apresentam-se em seguida as metodologias de caracterização do revestimento cataforético. Os ensaios realizados tiveram como base os ensaios pedidos pelo cliente em relação a este projecto e à linha de cataforese.

4.7. Observação visual e microscópica

A observação visual e microscópica do revestimento tem como objectivo avaliar a qualidade das peças, isto é, verificar se existem alterações superficiais na peça que possam ter sido provocados pelo pré-tratamento, ou se após pintura se verificam defeitos no revestimento.

4.8. Espessura da película seca^[39]

Os resultados de métodos de medição de propriedades mecânicas, físicas e físico-químicas dos revestimentos dependem da espessura, portanto, a medição da espessura deve ser o primeiro teste a fazer.

Este método realizou-se de acordo com a norma GME 00 202, que recorre a métodos não destrutivos e que traduz para bases não ferrosas o princípio das correntes de Foucault. Para os substratos não ferrosos foi utilizado um medidor de espessuras Elcometer® modelo 355 com uma sonda Elcometer® T5511982 acoplada.

Antes de ser efectuada qualquer medição, o aparelho necessita de ser calibrado. A calibração ocorre da seguinte forma: o aparelho é calibrado numa base do mesmo material que a peça a medir, depois é calibrado com um padrão de espessuras consoante o revestimento, neste caso é o de 24,5 μm , visto que é o que se aproxima mais do limite da espessura da pintura cataforética.

A espessura do revestimento depois da pintura foi determinada em cinco locais diferentes da peça e foi registada a média. O valor médio da espessura deverá situar-se no intervalo de 12 a 25 μm .

4.9. Aderência pelo método da quadrícula^[40]

A aderência pode definir-se como o estado no qual duas superfícies se mantêm juntas através de forças entre o substrato e o revestimento, ou entre a camada de conversão (no caso de existir) e o revestimento. Com a realização deste ensaio pretende-se avaliar as forças de aderência envolvidas no sistema substrato/camada de conversão/revestimento, quando sujeitos ao corte até ao substrato. A avaliação da aderência é feita qualitativamente e o ensaio é destrutivo.

Este método tem como princípio, efectuar uma série de seis cortes paralelos, com a ajuda de um instrumento cortante tipo x-acto, distanciados de 1, 2 ou 3 mm consoante a espessura do revestimento seja inferior a 60 μm , superior a 60 μm e inferior a 120 μm ou superior a 120 μm , respectivamente. Estes cortes são feitos com uma pressão constante até se atingir o substrato e uma série de cortes paralelos é feita cruzando os cortes originais a 90°, obtendo-se a quadrícula. Após a quadrícula feita, cobre-se o corte com uma fita adesiva e com a ajuda da parte de trás do x-acto exerce-se pressão para remover completamente os vincos ou possíveis bolhas de ar existentes. De seguida é retirada a fita rapidamente e de uma só vez, e é avaliada a quadrícula de acordo com a tabela 7. Na tabela 8, apresentam-se as classificações aceites pelo cliente para a aderência pelo método da quadrícula.

Tabela 7 - Classificação da quadrícula segundo a norma GME 60 401

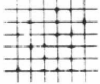
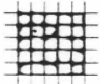

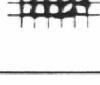
Classificação	Descrição	Aspecto da quadrícula (exemplo para seis incisões)
0	Os bordos das incisões perfeitamente lisos; nenhum dos quadros da quadrícula se destacou	
1	Destacamento de partículas do revestimento nas intersecções das incisões que não afecta mais de 5% da quadrícula	
2	O revestimento destacou-se ao longo dos bordos das intersecções das incisões afectando nitidamente entre 5 e 15% da quadrícula	
3	O revestimento destacou-se ao longo dos bordos das incisões, em parte ou na totalidade, em largas faixas, ou destacou-se em parte ou na totalidade em diversas zonas das quadrículas, afectando nitidamente entre 15 e 35% da quadrícula	
4	O revestimento destacou-se ao longo dos bordos das incisões em largas faixas, ou alguns quadrados destacaram-se parte ou na totalidade afectando nitidamente entre 35 e 65% da quadrícula	
5	Todos os graus de destacamento que não podem ser classificados até à classe 4	

Tabela 8 – Classificação de aceitação para a aderência pelo método da quadrícula.

Aderência	Classificação	
	Aceite	Não Aceite
Após pintura	$\leq Gt1$	Gt2 a Gt5
Resistência condensação e humidade constante	$\leq Gt1$	Gt2 a Gt5
Ensaio fervente	$\leq Gt 2$	Gt3 a Gt5

Este ensaio foi realizado com base na norma DIN EN ISO 2409 e foi utilizado um instrumento da marca Thermipart Quality Control composto por um x-acto e por um escantilhão e a fita adesiva utilizada foi a da 3M Scotch 2525.

4.10. Perda de massa^[41]

O ensaio de perda de massa tem por objectivo a verificação da eficiência das etapas de desgorduramento e desoxidação. A perda de massa é dada por:

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (34)$$

em que Δm é a perda de massa (g/m^2), m_1 é a massa da peça antes do tratamento (desengorduramento e/ou desoxidação) (g), m_2 é a massa da peça após o tratamento (g) e A é a área total da peça (m^2).

A perda de massa do processo de pré-tratamento (desengorduramento e desoxidação) deve situar-se, de acordo com as especificações do cliente, entre 1,0 e 1,5 g/m^2 .

Neste ensaio, utilizaram-se provetes de alumínio e as próprias peças (membranas de alumínio dos sensores). As peças e os provetes foram limpos com álcool etílico, secos com ar comprimido e foram pesados numa balança analítica Kern ALJ 220-4M (4 casas decimais) após estarem à temperatura ambiente. Foi registada a sua massa (m_1).

Depois de tratados, as peças e os provetes foram novamente secos com ar comprimido e pesados, registando-se a sua massa (m_2).

4.11. Ensaios de envelhecimento acelerado

Na avaliação da corrosão, a caracterização do comportamento anti-corrosivo apresentado pelos revestimentos é muito importante. A informação obtida em condições reais de utilização permite obter resultados fiáveis. Um dos problemas que se colocam nos ensaios de envelhecimento natural é o facto de estes necessitarem de vários anos para serem fidedignos e serem afectados pelas variações do clima. Recorrem-se então aos ensaios de envelhecimento acelerado. Estes também possuem os seus inconvenientes, como por exemplo, só comportarem alguns agentes corrosivos existentes na atmosfera, uma vez que as leis que regem a agressividade dos meios naturais não são suficientemente conhecidas. Assim, nos ensaios acelerados recorrem-se a meios muito mais agressivos.^[7]

Apesar dos ensaios de envelhecimento acelerado não representarem rigorosamente as condições da atmosfera/meios naturais, estes têm sido uma grande ajuda para quem tem de decidir por este ou aquele material e/ou revestimento.

4.11.1.1. Resistência à condensação e humidade constante^[40,42]

O ensaio de resistência à condensação e humidade constante é um ensaio mais suave que o ensaio da exposição ao nevoeiro salino. Neste ensaio as peças ficam expostas ao ar saturado com vapor de água, com 100% de humidade relativa e uma temperatura específica de 40 °C.

Com este ensaio verifica-se se as lavagens correspondentes ao pré-tratamento foram bem aplicadas às peças e se estas estão em boas condições, pois caso contrário observa-se o aparecimento de empolamentos após esta exposição. Este ensaio foi realizado numa câmara Erichsen Hygrotherm 519 e é um ensaio destrutivo.

A duração do ensaio foi de 96 horas e, em relação, à avaliação das peças, foi feito um ensaio de aderência pelo método da quadrícula e verificou-se a existência de alterações no revestimento. A classificação é feita com base nas tabelas 7 (aderência) e 9 (empolamentos). Na tabela 10, apresentam-se as classificações aceites pelo cliente para a avaliação da superfície das peças que foram expostas à câmara de condensação e humidade constante durante 96 horas.

Tabela 9 - Classificação dos empolamentos segundo a norma DIN 53 209

Quantidade de empolamentos	Dimensão dos empolamentos
m_0 = Nenhum	g_0 = Não visíveis
m_1 = Muito poucos	g_1 = Microscópicos
m_2 = Poucos	g_2 = Visíveis (0,5 a 1 mm)
m_3 = Moderado	g_3 = Bem Visíveis (1 a 2 mm)
m_4 = Considerável	g_4 = Ordem dos 2 a 5 mm
m_5 = Denso	g_5 = > 5 mm ou em cm

Tabela 10 - Classificação de aceitação para o tempo de exposição de 96 horas.

Tempo exposição (horas)	Classificação
96	m_0/g_0

4.11.1.2. Resistência ao nevoeiro salino^[43]

O ensaio de nevoeiro salino permite obter informações válidas sobre a resistência à corrosão de diversos materiais. Este ensaio consiste na vaporização de uma solução de cloreto de sódio a 5%, com um pH compreendido entre 6,5 e 7,2 sobre as peças a testar, numa câmara de nevoeiro salino a 35 °C. Nas peças a testar é feito um corte paralelo ao lado maior da peça, com o objectivo de verificar o grau de avanço da corrosão a partir de um defeito imposto na superfície.

A penetração da solução de cloreto de sódio entre o revestimento e a superfície metálica, que ocorre preferencialmente nos poros do revestimento, locais fragilizados ou em defeitos existentes no revestimento, resulta numa redução ou perda de adesão e pode iniciar-se na superfície metálica. Este ensaio foi realizado numa câmara Erichsen modelo 606/100 e é um ensaio destrutivo. A avaliação realizou-se de acordo com a norma GME 60 206, segundo a qual a penetração da solução de cloreto de sódio (W_b em mm), é dado pela seguinte equação:

$$W_b = \frac{b_1 - b_0}{2} \quad (35)$$

em que b_1 é a largura da zona de penetração em mm e b_0 é a largura da zona do corte original em mm.

A duração do ensaio foi de 96 horas e, em relação, à avaliação das alterações verificadas na superfície, esta foi feita com base na DIN 53 209 (tabela 9). Na tabela 11, apresentam-se as classificações aceites pelo cliente para a avaliação da superfície das peças que foram expostas à câmara nevoeiro salino durante 96 horas.

Tabela 11 - Classificação de aceitação para o tempo de exposição de 96 horas.

Tempo exposição (horas)	Classificação
96	Não é permitido ter corrosão no substrato

4.11.1.3. Resistência ao ensaio fervente^[44]

Este ensaio permite avaliar a qualidade do revestimento, num reduzido espaço de tempo, sendo realizado em condições rigorosas de temperatura e de humidade.

O ensaio consiste em mergulhar as peças num banho com água desmineralizada em ebulição durante duas horas. A avaliação faz-se com recurso a um ensaio de aderência pelo método da quadrícula, baseada na norma DIN EN ISO 2409 (tabela 7) e as alterações verificadas na superfície, são feitas com base na DIN 53 209 (tabela 9). Na tabela 12, apresentam-se as classificações aceites pelo cliente para a avaliação da superfície das peças que foram expostas ao ensaio fervente durante 2 horas.

Tabela 12 - Classificação de aceitação para o tempo de exposição de 2 horas.

Tempo exposição (horas)	Classificação
2	Ausência de empolamentos

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1. Observação visual e microscópica

Na avaliação da qualidade do revestimento, observação visual, verificou-se que a maior parte das peças apresentava boa qualidade, o que permitiu seguir para a fase de ensaios. Contudo, algumas peças apresentavam alguns defeitos que estão indicados no ponto seguinte.

Os esquemas que apresentaram peças com melhor aspecto a nível visual foram os 1, 3, 5, 9 e 15, o que pode ser devido ao facto de estas peças terem percorrido todo o processo de pré-tratamento da cataforese. As peças dos restantes esquemas apresentavam algumas inclusões/sujidades, devido a terem sido colocadas directamente na cuba de pintura com cataforese.



Figura 30 – Peças com boa qualidade a nível visual.

Não foi possível proceder à avaliação microscópica, devido à geometria das membranas de alumínio.

Na avaliação após os ensaios de laboratório, detectaram-se outros defeitos, como por exemplo, os empolamentos, que serão definidos de seguida.

Empolamentos^[14]

Este tipo de defeito é caracterizado pelo aparecimento de bolhas no revestimento, que resultam de uma falta de aderência. Os empolamentos são detectados após a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado (resistência ao nevoeiro salino, resistência à condensação e humidade constantes e ensaio fervente). Podem ser causados pela deficiente preparação da superfície metálica antes da pintura, baixa espessura do revestimento ou exposição do revestimento às condições atmosféricas antes da sua secagem.

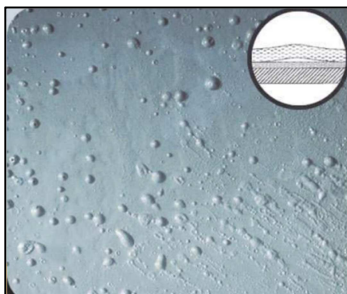


Figura 31 – Representação de empolamentos numa peça.

5.1.1. Defeitos mais frequentes no revestimento cataforético

Este estudo consiste num levantamento e identificação dos defeitos a nível do revestimento cataforético mais frequentes nas membranas e tentar verificar quais as possíveis causas. Só serão tidos em consideração os defeitos causados pela pintura e não referentes ao material (defeitos de material). De seguida será apresentada uma breve descrição dos vários defeitos assim como a sua causa provável.

Crateras^[8,45,46]

As crateras são pequenas áreas circulares que apresentam uma depressão com um rebordo levantado. As causas mais comuns para este tipo de defeito são a contaminação por lubrificantes e óleos (mau desgorduramento), por contaminantes aéreos (provenientes da cadeia transportadora), espuma na superfície da cuba de pintura e contaminação do túnel de ultrafiltrado. As possíveis soluções a curto prazo para eliminar este defeito são o uso de filtros de óleo, aumentar a relação pasta/ligante e eliminar uma percentagem do banho, adicionando produto novo.



Figura 32 – Cratera visível após pintura.

Rugosidade^[8,45,46]

A rugosidade é observada quando existe uma superfície de película seca que não é uniforme. É causada pela contaminação iónica da cuba (iões que provêm do pré-tratamento), níveis de solvente baixos, espessura elevada e irregularidades do substrato.

As eventuais soluções a curto prazo são a adição de solventes, a limpeza dos substratos e o controlo do pré-tratamento.



Figura 33 – Peça com rugosidade na superfície.

Pré-secagem^[8,45,46]

O defeito de pré-secagem caracteriza-se pelo aparecimento de marcas na película polimerizada e pode ser devido a secagem das peças entre os estágios do pré-tratamento, teor de solventes baixo, paragens do transportador e diferenças elevadas da temperatura do ar.



Figura 34 – Peça com marcas de pré-secagem.

Zonas sem cobrir^[8,45,46]

Este defeito é caracterizado pela existência de zonas do substrato não cobertas e é provocado pelo sistema de pendurar as peças não ser o mais indicado e pela agitação insuficiente do banho da cataforese.

Fervidos e Escorridos^[8,45,46]

Este defeito resulta da acumulação (fervido) ou apenas de um gotejamento (escorrido) de tinta não electrodepositada, que não foi convenientemente eliminado e que ao ser curado por cima da película electrodepositada origina excesso de espessura nas arestas das peças. As causas mais comuns deste defeito são a colocação inadequada das peças no bastidor, caudal insuficiente do ultrafiltrado no túnel de lavagem e a secagem entre a saída da cuba de pintura e o túnel de lavagem.



Figura 35 – Peças com marcas de escorridos e fervidos.

Inclusões/sujidades^[8,45,46]

As inclusões/sujidades são deformações em relevo presentes na película após pintura. Estas podem ser provocadas pela contaminação do substrato, por má qualidade do pré-tratamento (contaminações dos banhos), por sujidade na cuba da tina, no túnel de lavagem do UF e no forno de polimerização.



Figura 36 – Peças com inclusões/sujidades.

5.2. Espessura da película seca

No processo de cataforese, a espessura da película seca obtida, e , é directamente proporcional à tensão aplicada no banho de cataforese, V , como se pode verificar na equação (36):

$$e = V \times \frac{t \times A}{\rho \times l \times S \times d \times R_c} \quad (36)$$

em que t é o tempo de passagem da peça ao longo dos ânodos, A a área da peça a pintar, ρ a resistividade do banho, l a distância ânodo-cátodo, S a superfície total imersa na cuba, d a densidade da película seca e R_c o rendimento coulômbico do sistema.^[8]

Considerando $A \approx S$

$$e = V \times \frac{t}{\rho \times l \times d \times R_c} \quad (37)$$

A tensão aplicada no banho de cataforese foi de 100 V e na tabela 13, apresentam-se os valores obtidos para a espessura da película seca dos revestimentos obtidos por cataforese nas peças de ensaio. Tal como foi referido anteriormente, a espessura do revestimento de cada peça foi medida em cinco locais diferentes e foi registada a média.

Tabela 13 – Espessura média das peças de ensaio.

Esquema	Espessura média (µm)
1	15,6 ± 1,7
2	19,2 ± 1,4
3	13,9 ± 3,1
4	18,6 ± 2,0
5	15,4 ± 1,0
6	17,7 ± 0,8
7	17,8 ± 1,2

Esquema	Espessura média (μm)
8	$17,7 \pm 0,4$
9	$15,6 \pm 0,3$
10	$19,3 \pm 0,5$
11	$17,7 \pm 0,4$
12	$17,5 \pm 0,5$
13	$16,4 \pm 0,5$
14	$19,0 \pm 0,3$
15	$17,1 \pm 0,3$
16	$18,4 \pm 0,6$

Como se pode verificar, para todos os esquemas a espessura do revestimento varia entre 12 e 25 μm de acordo com o especificado pelo cliente.

5.3. Aderência pelo método da quadrícula

A aderência pelo método da quadrícula permite avaliar qualitativamente o grau de aderência estabelecida entre o substrato metálico e a camada de conversão e entre a camada de conversão e o revestimento. Na tabela 14, apresentam-se os resultados dos diferentes esquemas antes e após os ensaios de envelhecimento acelerado.

Tabela 14 – Resultados obtidos através do ensaio de aderência pelo método da quadrícula antes e após os ensaios de envelhecimento acelerado.

Esquema	Aderência – Método da quadrícula		
	Após pintura	Após ensaio fervente	Após ensaio de resistência à condensação e humidade constante
1	Gt5	Gt5	Gt0
2	<u>Gt0</u>	<u>Gt1</u>	<u>Gt0</u>
3	Gt5	Gt5	Gt5
4	Gt0	Gt5	Gt1
5	Gt5	Gt5	Gt3
6	<u>Gt0</u>	<u>Gt0</u>	<u>Gt1</u>
7	Gt4	Gt5	Gt4
8	Gt0	Gt5	Gt0
9	Gt5	Gt0	Gt5
10	<u>Gt0</u>	<u>Gt0</u>	<u>Gt1</u>
11	Gt2	Gt5	Gt5
12	Gt0	Gt5	Gt0
13	Gt5	Gt0	Gt0
14	<u>Gt0</u>	<u>Gt0</u>	<u>Gt0</u>
15	Gt5	Gt5	Gt5
16	<u>Gt0</u>	<u>Gt2</u>	<u>Gt0</u>

Decidiu-se sublinhar os resultados que estão dentro das especificações, para se ter uma melhor percepção dos esquemas dentro de especificações.

Analisando a tabela 14 verifica-se que as peças referentes aos esquemas que não sofreram o pré -tratamento da linha de cataforese apresentam melhor grau de aderência antes de serem sujeitas aos ensaios de envelhecimento acelerado. Uma possível razão para este facto é o pré-tratamento da cataforese possuir estágios de desengorduramento e activação, mas não possuir estágios de desoxidação (estágio que cria rugosidade na peça, que é um factor importante para uma boa aderência da tinta ou para promover a aderência do fosfato). Verifica-se também que as peças tratadas nos que envolvem imersão obtiveram melhores resultados, o que pode ser devido a tratamento de toda a área das peças, quando estas são tratadas por imersão, e à auto-secagem das peças entre os estágios, quando estas são tratadas por aspersão.

Após a exposição ao ensaio fervente verificou-se que as peças dos esquemas 2 e 16 aumentaram o grau de destacamento de aderência pelo método da quadrícula, permanecendo ainda dentro das especificações. As peças tratadas de acordo com os esquemas 4, 7, 8, 11 e 12 também sofreram um aumento do grau de destacamento, levando a resultados fora da especificação. Com os outros esquemas mantivesse o grau de destacamento, com excepção dos esquemas 9 e 13 em que se verificou uma diminuição do grau de destacamento. Era de esperar que o esquema 16 conduzisse a um grau máximo de destacamento, visto que as peças não sofreram qualquer tipo de pré-tratamento antes da pintura, e como é sabido o pré-tratamento é de grande importância para obter um revestimento de qualidade e grande duração. Uma possível explicação para este facto é que talvez as peças no esquema 16 apresentassem pouca sujidade e pouca quantidade de óleos/gorduras. Mais uma vez se verificou que as peças sujeitas aos esquemas que incluem tratamento por imersão obtiveram melhores resultados que os tratados por aspersão.

Nos resultados relativos à resistência à condensação e humidade constante pode concluir-se que os piores resultados relativamente ao grau de aderência foram os obtidos com os esquemas 3, 5, 7, 9, 11 e 15. Estes não eram os resultados esperados visto que as peças sofreram o pré-tratamento com posterior aplicação da camada de fosfato. Por outro lado com os esquemas 3 e 11, as peças receberam uma camada de silanos da linha 1 e 4, respectivamente, e o no esquema 7 uma camada de passivante antes de sofrerem o

pré-tratamento da cataforese, o que pode ter criado uma instabilidade entre camadas de conversão e por conseguinte uma má aderência entre a camada de conversão e a pintura propriamente dita.

Assim, as peças que cumprem as especificações são as sujeitas aos seguintes esquemas: 2, 6, 10, 14 e 16. Os esquemas 2, 6, 10 e 14 incluem os pré-tratamentos por imersão na linha de desgorduramento/desoxidação, linha 1, linha 2, linha 4, respectivamente, enquanto que no esquema 16 não existe qualquer tipo de pré-tratamento, visto que as peças entraram directamente na cuba da cataforese. Verifica-se também que as peças tratadas por aspersão e que sofreram o pré-tratamento na linha de cataforese obtiveram os piores resultados, assim como aquelas que possuíam duas camadas de conversão diferente.

Estes resultados não são de todo os esperados. Era expectável que obtivessem os piores resultados a nível de aderência para os esquemas que não passaram no túnel de pré-tratamento da cataforese, pois é um passo muito importante para uma boa qualidade do revestimento.

5.4. Perda de massa

Foi realizado um estudo de perda de massa nas linhas 1 e 2, linha 4 e na linha de desgorduramento/desoxidação. Apenas na linha de desgorduramento/desoxidação se tinha requisitos em relação ao tempo de estágio, ou seja, nas restantes linhas foi utilizada a velocidade normal da linha e tentou-se escolher os dias em que os banhos do pré-tratamento estavam o mais estáveis possível. É importante referir que nem sempre se conseguiram realizar os estudos todos no mesmo dia e, por isso, foi necessário o controlo dos banhos nos vários dias em que se efectuaram os estudos. Para cada estudo construiu-se um gráfico com os resultados obtidos, onde se delimitou o intervalo de valores de perda de massa, exigidos pelo cliente ($1,0\text{--}1,5\text{ g/m}^2$), com linhas a tracejado.

Linha de desgorduramento/desoxidação

Para estudar o efeito da perda de massa foram utilizadas duas peças com geometrias diferentes, provetes de alumínio e membranas de alumínio. Os intervalos de tempo de permanência nos banhos e os intervalos de concentração dos banhos de desgorduramento e de desoxidação foram indicados pelo fornecedor dos produtos químicos. As peças foram mergulhadas nos banhos, ocorrendo o processo de pré-tratamento por imersão.

Em relação à concentração dos banhos de desoxidação e de desgorduramento optou-se por utilizar uma concentração média, ou seja, escolheu-se o valor médio dentro da gama de concentrações indicadas. Assim, o parâmetro variável é o tempo de permanência das peças nos banhos.

É importante salientar que antes de todos os testes, foram realizadas as respectivas análises aos banhos e procedeu-se à sua correcção da concentração.

Tabela 15 – Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa entre provetes e membranas.

Banho	Parâmetro	Intervalo de trabalho	Temperatura (°C)	Análise
Desgorduramento Alcalino	Concentração (g/L)	50-100	50-60	66,13
Lavagem 1	Condutibilidade (μS/cm)	≤1000	Ambiente	80,0
Lavagem 2	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	74,3
Desoxidação Ácida	Concentração (g/L)	30-60	20-40	41,8
	Alumínio Dissolvido (mg/L)	≤5		0,60
Lavagem 3	pH	≥3	Ambiente	5,85
Lavagem 4	pH	≥5	Ambiente	6,79
	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	309
Lavagem 5	Condutibilidade (μS/cm)	≤20	Ambiente	18,0

O intervalo de tempo da permanência das peças no banho da desoxidação era de 1 a 10 minutos. Como se optou por utilizar um valor médio de concentração do banho

de desoxidação, assim o intervalo de tempo a estudar também foi diminuído para metade, ou seja, entre 1 e 6 minutos.

Tabela 16 – Valores de perda de massa dos provetes em função dos tempos de desoxidação para os provetes na linha de desengorduramento/desoxidação.

Tempo (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
1	20,7538	20,7410	0,0196	0,6531	0,6403 ± 0,0128
	20,8452	20,8329		0,6276	
2	20,8242	20,8059		0,9337	0,9413 ± 0,0077
	20,8013	20,7827		0,9490	
3	20,7714	20,7487		1,1582	1,1786 ± 0,0204
	20,7853	20,7618		1,1990	
4	20,7479	20,7160		1,6276	1,6760 ± 0,0485
	20,7475	20,7137		1,7245	
5	20,7754	20,7361		2,0051	2,0051 ± 0,0000
	20,7525	20,7132		2,0051	
6	20,7635	20,7202		2,2092	2,1888 ± 0,0501
	20,7725	20,7290		2,2194	
	20,7654	20,7235		2,1378	

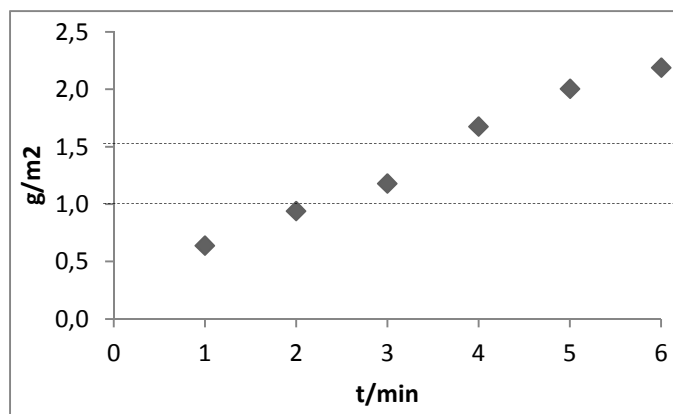


Figura 37 – Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desoxidação para os provetes na linha de desengorduramento/desoxidação.

Analisando a tabela 16 e observando a figura 37, pode concluir-se que para o caso dos provetes o tempo ideal de permanência no banho de desoxidação são 3 minutos, visto que o valor de perda de massa é de 1,1786 g/m², e se encontra dentro do

intervalo de valores pelo cliente ($1,0\text{--}1,5\text{ g/m}^2$), que está demarcado pelas linhas a tracejado.

Após a determinação do tempo ideal de permanência no banho da desoxidação efectuou-se um estudo semelhante para o banho de desengorduramento, que permitiu definir o tempo ideal no banho e verificar se existia perda de massa no estágio do desengorduramento. O intervalo de tempo de permanência no banho de desengorduramento definido pelo fornecedor foi de 10 a 20 minutos. Assim, os tempos estudados foram de 10, 15 e 20 minutos.

Tabela 17 - Valores de perda de massa em função aos tempos de desengorduramento dos provetes na linha de desengorduramento/desoxidação.

Tempo (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)	Perda de Massa Média (g/m^2)
20	20,8465	20,8423	0,0196	0,2143	$0,2219 \pm 0,0077$
	20,8892	20,8847		0,2296	
15	20,8668	20,8647		0,1071	$0,1173 \pm 0,0103$
	20,7881	20,7856		0,1276	
10	20,9032	20,9023		0,0459	$0,0612 \pm 0,153$
	20,7377	20,7362		0,0765	

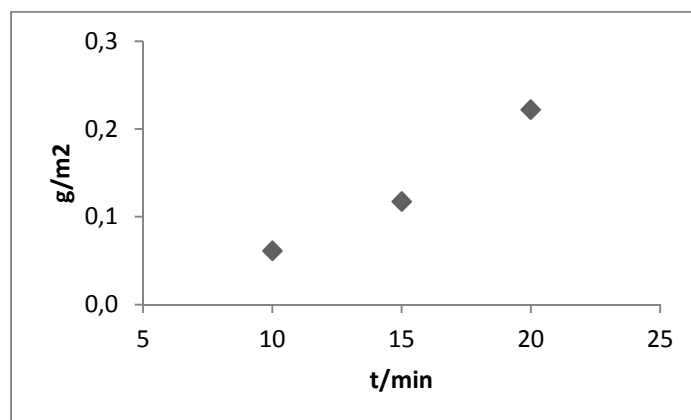


Figura 38 - Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desengorduramento dos provetes na linha de desengorduramento/desoxidação.

Analisando a tabela 17 e observando a figura 38, pode concluir-se que ocorre de facto uma perda de massa dos provetes, apesar de ser mínima. De modo a encontrar um

tempo ideal de desengorduramento e de desoxidação decidiu-se fazer um estudo de perda de massa com os tempos de permanência mais favoráveis.

Tabela 18 - Valores de perda de massa em função dos tempos de desengorduramento e desoxidação.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
20	3	20,7714	20,7487	0,0196	1,1582	1,1786 ± 0,0204
		20,7853	20,7618		1,1990	
20	4	20,7479	20,7160		1,6276	1,6760 ± 0,0485
		20,7475	20,7137		1,7245	
15	3	20,8906	20,8625		1,4337	1,3520 ± 0,0817
		20,8986	20,8737		1,2704	
15	4	20,8560	20,8159		2,0459	1,9184 ± 0,1276
		20,7881	20,7530		1,7908	
10	3	20,8043	20,7760		1,4439	1,3776 ± 0,0664
		20,7817	20,7560		1,3112	
10	4	20,8580	20,8212		1,8776	1,8367 ± 0,0409
		20,8603	20,8251		1,7959	

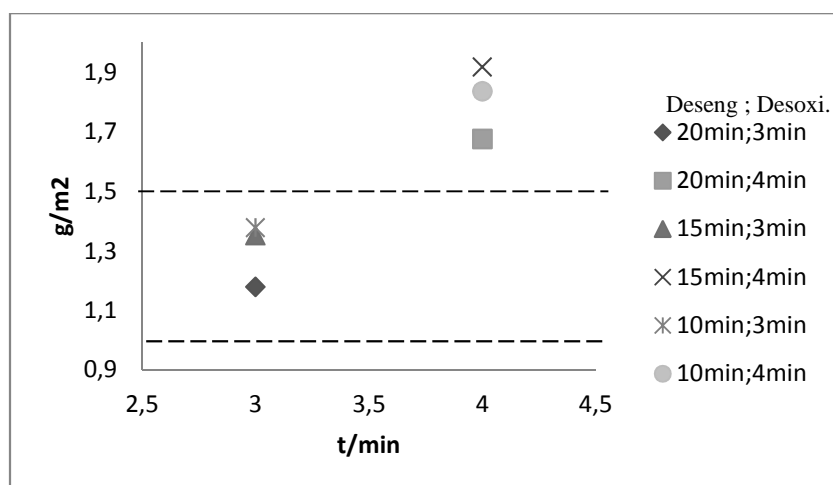


Figura 39 - Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desengorduramento e desoxidação dos provetes na linha de desengorduramento/desoxidação.

Analisando a tabela 18 e observando a figura 39, pode concluir-se que em relação ao tempo de permanência no banho de desoxidação, o ideal é 3 minutos. No

estágio de desgorduramento verifica-se que 10, 15 ou 20 minutos são indiferentes, pois este estágio não contribui significativamente para o valor de perda de massa. No entanto, optar-se-á pelos 10 minutos, pois o intervalo de perda de massa exigido é cumprido, as peças saem bem desgorduradas, os intervalos de tempo indicados pelo fornecedor são cumpridos e, além disso, os custos do aquecimento do banho são menores, visto que o banho do desgorduramento é aquecido.

Em suma, o tempo ideal de permanência nos banhos de desgorduramento e de desoxidação para os provetes é de 3 e 10 minutos, respectivamente. Assim, obtém-se um compromisso entre as concentrações dos banhos indicadas pelo fornecedor, os tempos de permanência nos banhos indicados pelo fornecedor, a perda de massa exigida pelo cliente e os custos de funcionamento e o tempo de ocupação de linha.

Após a conclusão dos estudos de perda de massa envolvendo os provetes de alumínio, decidiu-se verificar se a peça a ser tratada (membrana de alumínio) teria um comportamento semelhante aos provetes de alumínio. Para tal, procedeu-se ao tratamento em simultâneo das duas peças, seguindo os tempos definidos a partir do estudo anterior.

Tabela 19 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa entre provetes e membranas

Banho	Parâmetro	Intervalo de trabalho	Temperatura (°C)	Análise
Desgorduramento Alcalino	Concentração (g/L)	50-100	50-60	65,91
Lavagem 1	Condutibilidade (μS/cm)	≤1000	Ambiente	85,0
Lavagem 2	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	79,7
Desoxidação Ácida	Concentração (g/L)	30-60	20-40	41,5
	Alumínio Dissolvido (mg/L)	≤5		0,63
Lavagem 3	pH	≥3	Ambiente	5,45
Lavagem 4	pH	≥5	Ambiente	6,72
	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	328
Lavagem 5	Condutibilidade (μS/cm)	≤20	Ambiente	18,5

Tabela 20 – Valores de perda de massa dos provetes para 10 minutos de desengorduramento e 3 minutos de desoxidação, na linha de desengorduramento/desoxidação.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
10	3	20,7793	20,7550	0,0196	1,2398	1,2262 ± 0,0323
		20,8289	20,8055		1,1939	
		20,7804	20,7560		1,2449	

Tabela 21 - Valores de perda de massa das membranas para 10 minutos de desengorduramento e 3 minutos de desoxidação, na linha de desengorduramento/desoxidação.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
10	3	3,0963	3,0950	0,0013	1,0000	0,8205 ± 0,2051
		3,1004	3,0996		0,6154	
		3,1151	3,1140		0,8462	

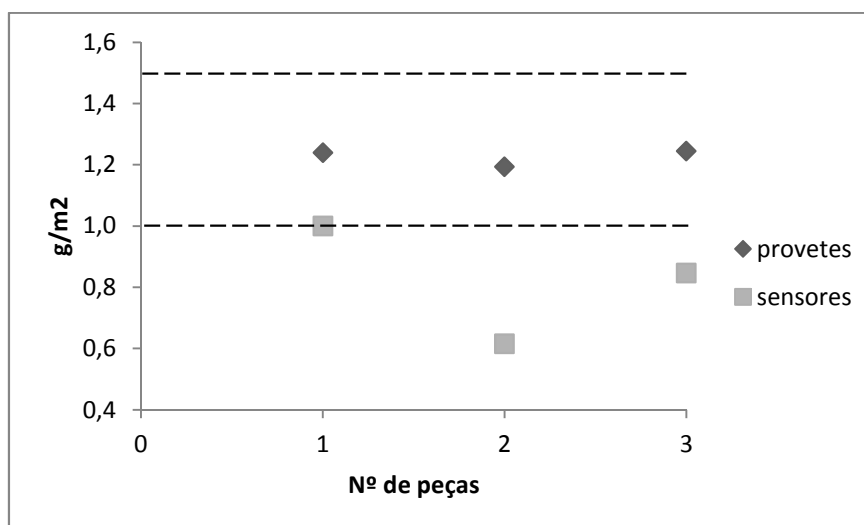


Figura 40 – Comparação dos valores de perda de massa dos provetes e das membranas para 10 minutos de desengorduramento e 3 minutos de desoxidação, na linha de desengorduramento/desoxidação.

Analisando as tabelas 13 e 14 e a figura 35, pode-se concluir que para tempos iguais de permanência nos banhos de desengorduramento e de desoxidação observa-se um comportamento bastante diferente entre as duas peças. Enquanto a exigência de

perda de massa é cumprida para o provete, para a membrana esse facto não se verifica. Assim, repetiu-se o estudo da perda de massa das membranas em relação ao tempo no banho de desoxidação, para 3 e 4 minutos. O tempo no estágio de desgorduramento manteve-se 10 minutos.

Tabela 22 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas na linha d de desgorduramento/desoxidação.

Banho	Parâmetro	Intervalo de trabalho	Temperatura (°C)	Análise
Desgorduramento Alcalino	Concentração (g/L)	50-100	50-60	67,67
Lavagem 1	Condutibilidade (μS/cm)	≤1000	Ambiente	759
Lavagem 2	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	172,9
Desoxidação Ácida	Concentração (g/L)	30-60	20-40	42,5
	Alumínio Dissolvido (mg/L)	≤5		0,63
Lavagem 3	pH	≥3	Ambiente	3,68
Lavagem 4	pH	≥5	Ambiente	6,87
	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	227
Lavagem 5	Condutibilidade (μS/cm)	≤20	Ambiente	19,2

Tabela 23 - Valores de perda de massa das membranas, fixando o tempo de estágio no desgorduramento e variando o tempo na desoxidação, na linha de desgorduramento/desoxidação.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
10	3	3,1077	3,1053	0,0013	1,8462	1,5128 ± 0,3334
		3,0907	3,0891		1,2308	
		3,0730	3,0711		1,4615	
	4	3,0936	3,0906		2,3077	2,0000 ± 0,3077
		3,0925	3,0899		2,0000	
		3,0984	3,0962		1,6923	

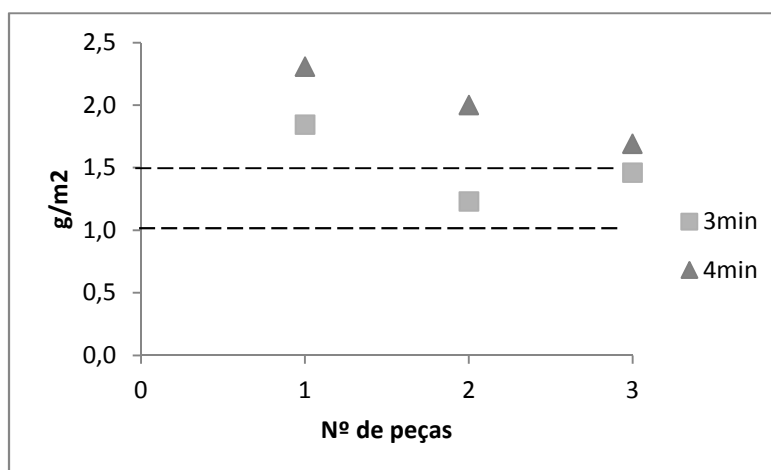


Figura 41 – Representação gráfica da perda de massa em função dos tempos de desoxidação dos provetes na linha de desgorduramento/desoxidação, mantendo o tempo de desgorduramento constante.

Analisando a tabela 23 e a figura 41, verifica-se que os sensores que permaneceram 3 minutos no banho de desoxidação são os que estão dentro do intervalo de perda de massa exigido pelo cliente ($1,0\text{-}1,5\text{ g.m}^{-2}$), que está demarcado pelas linhas a tracejado. No entanto, existe um valor de perda de massa relativo aos sensores que estiveram 3 minutos no estágio da desoxidação, que se encontra fora deste intervalo e que ao ser incluído na média dos valores, a torna superior ao intervalo permitido. Em relação às membranas que estiveram 4 minutos no estágio da desoxidação, verifica-se que estas tiveram uma perda de massa superior ao pedido, tanto a nível de valor individual como a nível de valor médio. Este resultado deve-se ao aumento do valor da concentração do banho de desoxidação, pois o nível e a concentração do banho estavam em baixo e tiveram que ser corrigidos.

Decidiu-se então refazer o estudo de perda de massa para as membranas aplicando um estágio de desgorduramento de 10 minutos e de desoxidação de 3 minutos, baixando o valor da concentração de ambos os banhos.

Tabela 24 - Resultado da análise dos banhos previamente realizada ao estudo da perda de massa das membranas

Banho	Parâmetros	Intervalo de trabalho	Temperatura (°C)	Análise
Desengorduramento alcalino	Concentração (g/L)	50-100	50-60	66,7
Lavagem 1	Condutibilidade (μS/cm)	≤1000	Ambiente	768
Lavagem 2	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	178
Desoxidação ácida	Concentração (g/L)	30-60	20-40	41,5
	Alumínio dissolvido (mg/L)	≤5		0,45
Lavagem 3	pH	≥3	Ambiente	3,69
Lavagem 4	pH	≥5	Ambiente	7,82
	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	231
Lavagem 5	Condutibilidade (μS/cm)	≤20	Ambiente	19,8

Tabela 25 - Valores de perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desengorduramento e 3 minutos para o de desoxidação.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m²)	Perda de Massa (g/m²)	Perda de Massa Média (g/m²)
10	3	3,0927	3,0906	0,0013	1,6154	1,6000±0,4000
		3,0967	3,0947		1,5385	
		3,0944	3,0927		1,3077	
		3,1005	3,0979		2,0000	
		3,1020	3,1000		1,5385	
		3,1244	3,1223		1,6154	
		3,1049	3,1029		1,5385	
		3,1067	3,1044		1,7692	
		3,1095	3,1075		1,5385	
		3,1139	3,1119		1,5385	

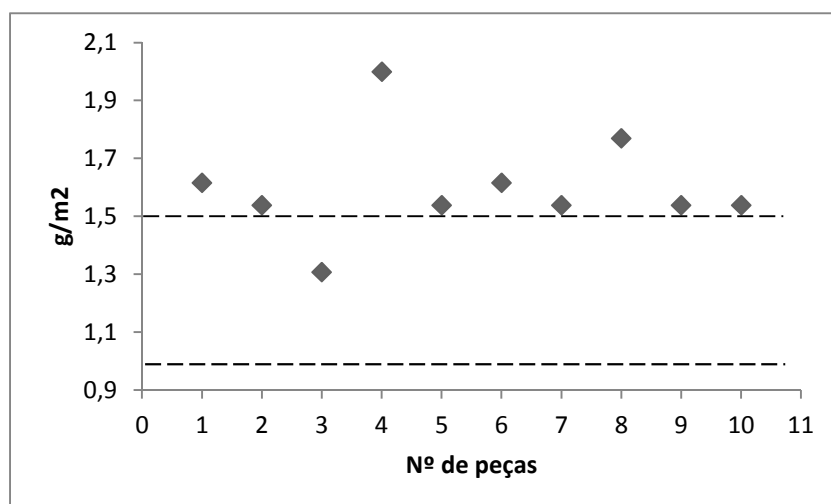


Figura 42 – Representação gráfica da perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desengorduramento e 3 minutos para o de desoxidação.

Analisando a tabela 25 e a figura 42, verifica-se que em 10 membranas testadas, apenas uma obteve o valor de perda de massa contido no intervalo exigido pelo cliente. Pode-se confirmar também que o valor médio da perda de massa é superior ao limite máximo do intervalo permitido ($1,6 \text{ g.m}^{-2}$ contra os $1,5 \text{ g.m}^{-2}$). Visto que os tempos de permanência nos estágios do pré-tratamento são tempos de compromisso, decidiu-se baixar ainda mais as concentrações dos banhos de desengorduramento e de desoxidação e refazer o estudo da perda de massa com 10 minutos no estágio do desengorduramento e 3 minutos no da desoxidação.

Tabela 26 - Resultado da análise dos banhos previamente realizada ao estudo da perda de massa das membranas

Banho	Parâmetros	Intervalo de trabalho	Temperatura (°C)	Análise
Desengorduramento alcalino	Concentração (g/L)	50-100	50-60	62,8
Lavagem 1	Condutibilidade (μS/cm)	≤1000	Ambiente	739
Lavagem 2	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	166,7
Desoxidação ácida	Concentração (g/L)	30-60	20-40	40,5
	Alumínio dissolvido (mg/L)	≤5		0,36
Lavagem 3	pH	≥3	Ambiente	3,73
Lavagem 4	pH	≥5	Ambiente	7,81
	Condutibilidade (μS/cm)	≤500	Ambiente	234
Lavagem 5	Condutibilidade (μS/cm)	≤20	Ambiente	19,2

Tabela 27 - Valores de perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desgorduramento e 3 minutos para o de desoxidação, e com as concentrações dos banhos de desgorduramento e de desoxidação mais baixas.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
10	3	3,0920	3,0902	0,0013	1,3846	1,3923 ± 0,4692
		3,1038	3,1017		1,6154	
		3,0998	3,0981		1,3077	
		3,0988	3,0969		1,4615	
		3,1007	3,0985		1,6923	
		3,0963	3,0951		0,9231	
		3,0867	3,0850		1,3077	
		3,0980	3,0964		1,2308	
		3,0884	3,0863		1,6154	
		3,0936	3,0918		1,3846	

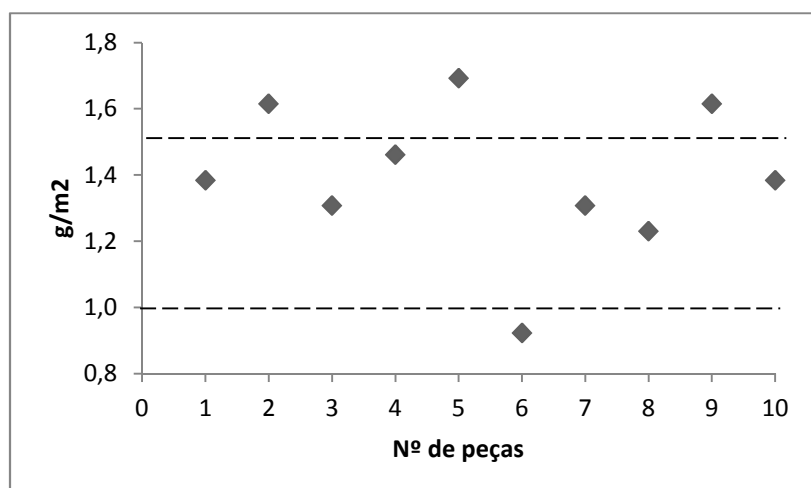


Figura 43 – Representação gráfica da perda de massa das membranas para 10 minutos no estágio do desgorduramento e 3 minutos para o de desoxidação, e com as concentrações dos banhos de desgorduramento e de desoxidação mais baixas.

Com base na tabela 27 e a figura 43, verifica-se que em 10 membranas, 6 obtiveram o valor de perda de massa contido no intervalo de valores exigido pelo cliente. No entanto, verifica-se que o valor médio de perda de massa relativo às 10 peças encontra-se no intervalo pretendido, o que leva a concluir que existe uma grande diferença de comportamento das peças quando estão sujeitas aos estágios de desgorduramento e de desoxidação. A diferença de comportamentos pode se observada através dos desvios em relação à média, ou seja, obteve-se um valor médio de $1,3923 \pm 0,4692 \text{ g/m}^2$. Este facto pode ser confirmado na tabela 27, pois tanto se obteve $0,9231 \text{ g/m}^2$ de perda de massa numa peça e que possui um erro de $0,4692 \text{ g/m}^2$ em relação à média, como se obteve $1,6923 \text{ g/m}^2$, que possui um erro de $0,2231 \text{ g/m}^2$ em relação à média. Esta diferença de comportamento poderá ser devida ao processo de fabrico das peças ou então a uma fraca agitação dos banhos de desgorduramento e de desoxidação, o que provocará uma má homogeneização do banho, e consequentemente gradientes de concentração.

Conclui-se que os melhores resultados obtidos nos estudos de perda de massa, para os tempos definidos, são os obtidos quando as concentrações dos banhos de desgorduramento e desoxidação são $62,8 \text{ g/L}$ e $40,5 \text{ g/L}$, respectivamente.

Linha 4

Para estudar o efeito da perda de massa no túnel de pré-tratamento da linha 4 foram utilizadas duas peças com geometrias diferentes, provetes de alumínio e membranas de alumínio. Os tempos de permanência nos estágios de desgorduramento e de desoxidação, para o tratamento por imersão, foram baseados nos tempos utilizados na linha de desgorduramento/desoxidação. Na primeira parte do estudo, as peças foram mergulhadas nas tinas dos banhos, ou seja, o tratamento foi por imersão à semelhança do tratamento na linha de desgorduramento/desoxidação. Na segunda parte, as peças foram colocadas na linha de modo a sofrerem o pré-tratamento por aspersão. Os valores dos parâmetros químicos dos banhos utilizados foram de acordo com a produção.

É importante salientar que o controlo dos banhos foi realizado pelo operador, assim como a correcção da concentração dos mesmos.

Tabela 28 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas e provetes tratados por aspersão e por imersão na linha 4

Banho	Parâmetros	Intervalo de Trabalho	Análise
Desgorduramento	Acidez Livre (mL)	6,0 - 12,0	8,1
Desoxidação	Acidez Livre (mL)	8,0 - 15,0	8,1
	Teor em alumínio (g/L)	< 0,8	0,2
Lavagem 3	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 100	35,6
	pH	4 - 7	6,47
Rampa de água desmineralizada	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 30	3,0
Lavagem 4	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 30	16,1
	pH	4 - 7	5,73
Rampa de água desmineralizada	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 10	3,0

Tabela 29 - Valores de perda de massa para diferentes tempos de desengorduramento e desoxidação, de provetes tratados no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
10	3	20,8364	20,5898	0,0196	12,5816	12,7330 ± 0,1514
		20,8589	20,6080		12,8010	
		20,8455	20,5943		12,8163	
15	3	20,7911	20,4173		19,0714	18,9915 ± 0,2823
		20,7738	20,4071		18,7092	
		20,7959	20,4197		19,1939	

Tabela 30 - Valores de perda de massa para diferentes tempos de desengorduramento e desoxidação, de membranas tratados no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão.

Tempo Desengor. (min)	Tempo Desoxi. (min)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
10	3	3,1029	3,0836	0,0013	14,8462	14,5385 ± 0,4616
		3,1000	3,0817		14,0769	
		3,0914	3,0723		14,6923	
15	3	3,0933	3,0681		19,3846	19,2821 ± 0,8975
		3,1228	3,0967		20,0769	
		3,1121	3,0882		18,3846	

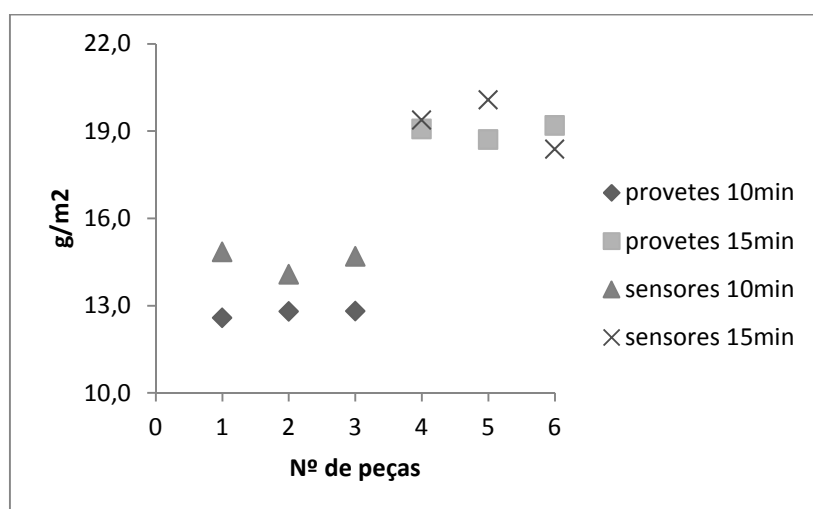


Figura 44 - Comparação dos valores de perda de massa das membranas e dos provetes tratados no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão.

De acordo com as tabelas 29 e 30 e a figura 44, pode concluir-se que o pré-tratamento na linha 4 é muito agressivo tanto para os sensores como para os provetes. Continua a ser evidente a diferença de comportamento entre os provetes e os sensores, que poderá ser devida à diferença do material das duas peças, isto é, apesar de serem de alumínio, as duas peças não são produzidas com mesma liga, e à diferente geometria das peças, pois o provete possui uma geometria rectangular plana e a membrana possui uma geometria circular com cavidades.

Após este estudo, decidiu-se ampliar o número de amostras e estudar o comportamento das mesmas fixando o tempo de estágio no desengorduramento em 10 minutos e o da desoxidação em 3 minutos. Para tal utilizaram-se 11 membranas, que foram imersas nos estágios.

Tabela 31 -- Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por imersão na linha 4

Banho	Parâmetros	Intervalo de Trabalho	Análise
Desengorduramento	Acidez Livre (mL)	6,0 - 12,0	8,1
Desoxidação	Acidez Livre (mL)	8,0 - 15,0	8,2
	Teor em alumínio (g/L)	< 0,8	0,25
Lavagem 3	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 100	20,3
	pH	4 - 7	5,64
Rampa de água desmineralizada	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 30	2,3
Lavagem 4	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 30	15,3
	pH	4 - 7	4,89
Rampa de água desmineralizada	Condutibilidade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 10	2,3

Tabela 32 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão, com uma concentração do banho de desoxidação mais baixa.

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
3,1089	3,0987	0,0013	7,8462	8,0070 ± 0,6084
3,1131	3,1028		7,9231	
3,1121	3,1009		8,6154	
3,1116	3,1019		7,4615	
3,1134	3,1031		7,9231	
3,1113	3,1007		8,1538	
3,1130	3,1026		8,0000	
3,1106	3,0998		8,3077	
3,1112	3,1011		7,7692	
3,1120	3,1015		8,0769	
3,1114	3,1010		8,0000	

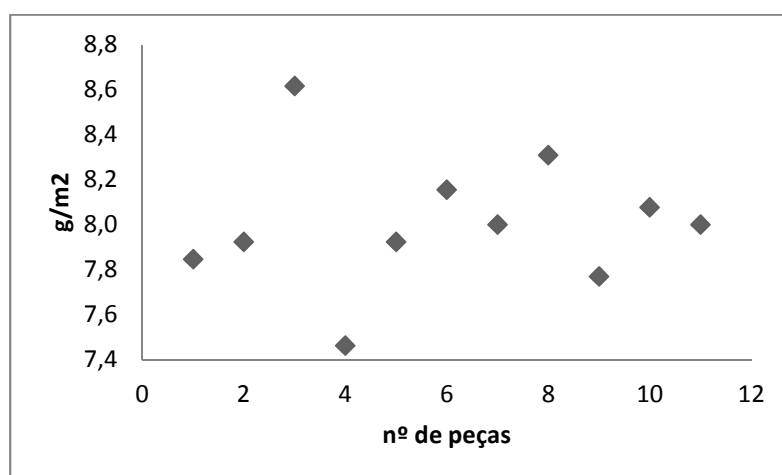


Figura 45 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por imersão.

Ao analisar se a tabela 32 e a figura 45, pode concluir-se que a perda de massa continua a ser muito elevada e que as membranas possuem comportamentos muito diferentes entre si. No entanto, verifica-se que o facto de a concentração do banho de desoxidação ter baixado 0,1 g/L, influenciou bastante a perda de massa, pois com a concentração de 8,2 g/L obteve-se um valor de perda de massa de $14,5385 \pm 0,4616 \text{ g/m}^2$ e com a concentração de 8,1 g/L obteve-se um valor de $8,0070 \pm 0,6084 \text{ g/m}^2$.

Procedeu-se a um outro estudo de perda de massa só utilizando as membranas, e mudando apenas a forma como estas estavam nos estágios. Isto é, enquanto nos estudos anteriores as peças eram tratadas por imersão, neste estudo as peças são tratadas por aspersão. Assim, as peças foram colocadas num carrinho da linha e evitou-se qualquer paragem de linha durante a passagem das peças no túnel de pré-tratamento. Os valores dos parâmetros químicos dos banhos utilizados foram de acordo com a produção.

Tabela 33 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por aspersão.

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
3,1101	3,1040	0,0013	4,7154	4,6035 ± 0,5734
3,1128	3,1067		4,7154	
3,1070	3,1015		4,2538	
3,1114	3,1059		4,2538	
3,0690	3,0628		4,7923	
3,1106	3,1050		4,3308	
3,1093	3,1031		4,7923	
3,1099	3,1041		4,4846	
3,1142	3,1075		5,1769	
3,1132	3,1071		4,7154	
3,1102	3,1045		4,4077	

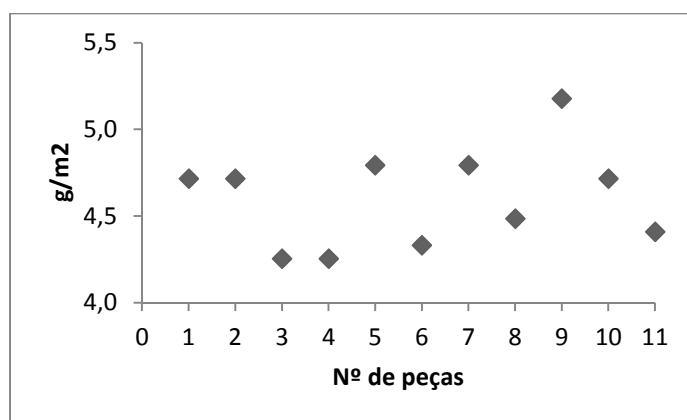


Figura 46 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 4 por aspersão.

Dos resultados obtidos pode concluir-se que o pré-tratamento efectuado por aspersão origina menor perda de massa do que o efectuado por imersão, no entanto, esta perda de massa é demasiado elevada para o intervalo exigido pelo cliente. A diferença entre o pré-tratamento por aspersão e por imersão pode dever-se ao facto de que quando a peça é imersa, o contacto desta com o banho é total, enquanto que por aspersão, podem existir zonas da peça que não são tratadas na totalidade.

Em suma, o pré-tratamento da linha 4 seria uma possível opção tanto a nível de tratamento por aspersão como de imersão, no entanto as concentrações dos banhos de desgorduramento e de desoxidação teriam que ser menores e o tempo de linha teria que ser estudado de modo a obter os valores de perda de massa exigidos pelo cliente. Este tipo de pré-tratamento seria vantajoso por inúmeras razões, como por exemplo, os produtos químicos seriam muito semelhantes aos utilizados nas outras linhas, trabalhar-se-ia a concentrações muito mais baixas e os operadores de controlo de banho já conheceriam as oscilações do banho. Contudo, haveria a desvantagem de o fornecedor dos produtos químicos ser o mesmo em todas as linhas, ou seja, estar-se-ia totalmente dependente de um só fornecedor.

Linha 1

Para estudar o efeito da perda de massa no túnel de pré-tratamento da linha 1 foram utilizadas apenas as membranas de alumínio, visto que o comportamento das membranas é muito diferente do dos provetes, como se pode comprovar pelos estudos efectuados anteriormente. Os tempos de permanência nos estágios de desgorduramento e de desoxidação, para as membranas tratadas por imersão, foram baseados nos tempos utilizados na linha de desgorduramento/desoxidação. As peças foram mergulhadas nas tinas dos banhos e foram colocadas na linha de modo a simular o tratamento por aspersão e imersão, à semelhança do que foi feito na linha 4. Os valores dos parâmetros químicos dos banhos utilizados foram de acordo com a produção.

É importante salientar que o controlo dos banhos foi realizado pelo operador, assim como a correcção da concentração dos mesmos.

Tabela 34 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por aspersão na linha 1

Banho	Parâmetros	Intervalo de Trabalho	Análise
Desengorduramento	Alcalinidade Total (pts)	9,0 - 11,0	9,2
	Temperatura (°C)	45,0 - 55,0	55,0
Desoxidação	Concentração (g/L)	30,0 - 35,0	35
Lavagem com água desmineralizada	pH	5 - 7	6,29
	Condutibilidade (μS/cm)	≤ 100	81,7
Lavagem com água desmineralizada	Condutibilidade (μS/cm)	≤ 50	29,7
Rampa final com água desmineralizada	Condutibilidade (μS/cm)	≤ 20	19,5

Tabela 35 - Estudo dos valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por aspersão.

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
3,1015	3,1007	0,0013	0,6385	0,7713 ± 0,4825
3,0986	3,0976		0,7923	
3,1094	3,1083		0,8692	
3,1075	3,1059		1,2538	
3,1062	3,1056		0,4846	
3,1134	3,1124		0,7923	
3,1096	3,1087		0,7154	
3,1103	3,1096		0,5615	
3,1098	3,1087		0,8692	
3,1120	3,1109		0,8692	
3,1126	3,1118		0,6385	

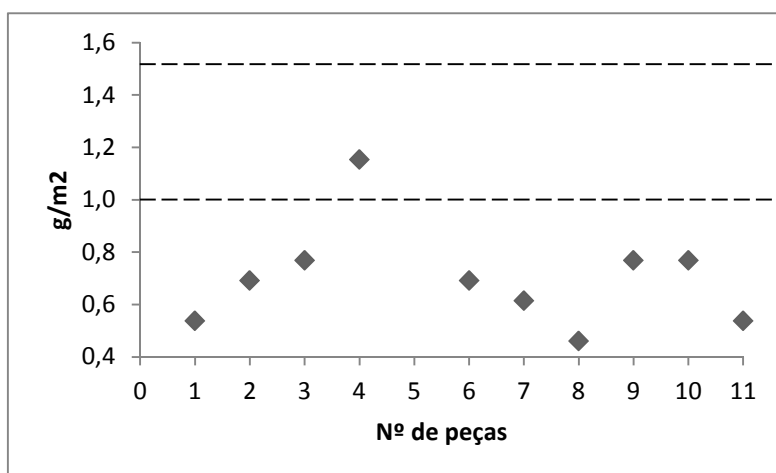


Figura 47 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por aspersão.

De acordo com a tabela 35 e a figura 47, observa-se que em 11 membranas, apenas uma respeitou o intervalo de perda de massa pretendido, enquanto as outras 10 apresentam valores inferiores ao intervalo pretendido. Este facto por ser devido ao pré-tratamento não ser totalmente eficaz em termos de concentrações dos produtos e bem como de cobertura total das membranas, visto que o tratamento é por aspersão e este pode não ter tratado toda a área da peça.

O segundo estudo realizado consistiu em imergir as membranas nos banhos de pré-tratamento da linha. Os tempos respeitados foram os estipulados para a linha de desengorduramento/desoxidação, ou seja, 10 minutos para o desengorduramento e 3 minutos para a desoxidação.

Tabela 36 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por imersão na linha 1

Banho	Parâmetros	Intervalo de Trabalho	Análise
Desengorduramento	Alcalinidade Total (pts)	9,0 - 11,0	11,0
	Temperatura (°C)	45,0 - 55,0	54,0
Desoxidação	Concentração (g/L)	30,0 - 35,0	35,0
Lavagem com água desmineralizada	pH	5 - 7	7,89
	Condutibilidade (µS/cm)	≤ 100	81,7
Lavagem com água desmineralizada	Condutibilidade (µS/cm)	≤ 50	29,7
Rampa final com água desmineralizada	Condutibilidade (µS/cm)	≤ 20	19,1

Tabela 37 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por imersão.

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
3,1112	3,1096	0,0013	1,2308	1,3007 ± 0,3916
3,1058	3,1041		1,3077	
3,1143	3,1127		1,2308	
3,1140	3,1126		1,0769	
3,1082	3,1066		1,2308	
3,1132	3,1114		1,3846	
3,1065	3,1049		1,2308	
3,1115	3,1098		1,3077	
3,1122	3,1100		1,6923	
3,1126	3,1109		1,3077	
3,1118	3,1101		1,3077	

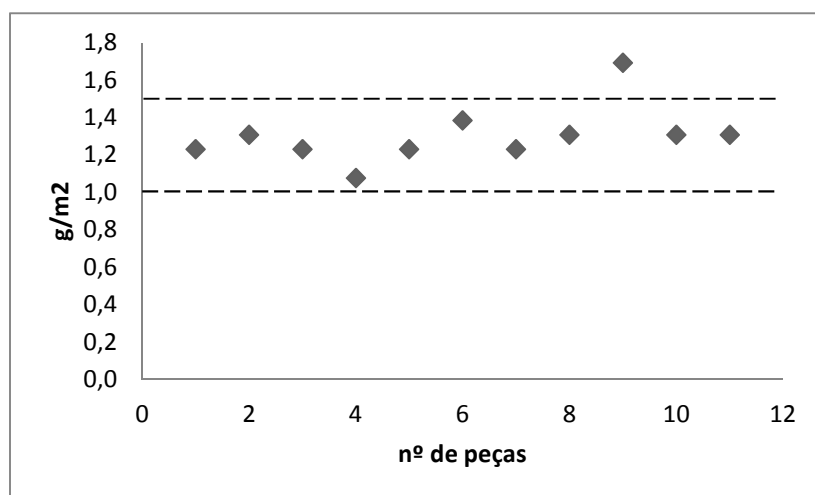


Figura 48 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 1 por imersão.

Analisando a tabela 37 e a figura 48, conclui-se que em 11 membranas, 10 respeitaram o intervalo de perda de massa exigido. Verifica-se também que os valores de perda de massa foram muito uniformes, o que origina um valor médio de perda de massa mais próximo da realidade, logo observar-se um erro associado menor ($1,3007 \pm 0,3916 \text{ g/m}^2$).

Comparando com os valores de perda de massa obtidos por aspersão e por imersão, pode concluir-se que o tratamento que conduz a melhores resultados na linha 1 é por imersão, uma vez que o intervalo de perda de massa é respeitado, os valores de perda de massa da amostra são mais uniformes e garante-se o tratamento de toda a peça, visto que esta é totalmente imersa.

Linha 2

Para estudar o efeito da perda de massa no túnel de pré-tratamento da linha 2 foram utilizadas apenas as membranas de alumínio. Os tempos de permanência nos estágios de desengorduramento e de desoxidação, para as membranas que foram tratadas por imersão, foram baseados nos tempos utilizados na linha de desengorduramento/desoxidação. Contudo, esta linha não possui um estágio de

desoxidação, assim no estudo do tratamento por imersão, as peças estiveram 13 minutos no desgorduramento, ou seja, a soma dos 10 minutos do desgorduramento e 3 minutos da desoxidação. As peças foram mergulhadas nas tinas dos banhos e colocadas na linha de modo a simular o tratamento por aspersão e imersão, à semelhança do que foi feito nas linhas 4 e 1. Os valores dos parâmetros químicos dos banhos utilizados foram de acordo com a produção.

É importante salientar que o controlo dos banhos foi realizado pelo operador, assim como a correcção da concentração dos mesmos.

Tabela 38 - Resultado da análise dos banhos previamente realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por aspersão na linha 2

Banho	Parâmetros	Intervalo de Trabalho	Análise
Desgorduramento	Alcalinidade Livre (pts)	10 - 15	15
Lavagem com água desmineralizada	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 50	49,5
Rampa Final com água desmineralizada	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 20	19,8

Tabela 39 - Estudo dos valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por aspersão.

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)	Perda de Massa Média (g/m^2)
3,1133	3,1126	0,0013	0,5615	$0,4077 \pm 0,2308$
3,1090	3,1086		0,3308	
3,1081	3,1075		0,4846	
3,1072	3,1067		0,4077	
3,1098	3,1092		0,4846	
3,1110	3,1104		0,4846	
3,1098	3,1096		0,1769	
3,1093	3,1089		0,3308	
3,1090	3,1087		0,2538	
3,1112	3,1108		0,3308	
3,1114	3,1106		0,6385	

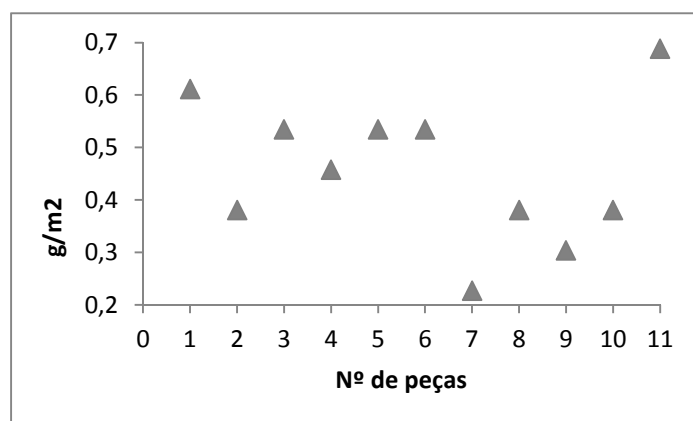


Figura 49 – Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por aspersão.

No tratamento por aspersão pode observar-se que as peças não cumpriram o intervalo de perda de massa exigido, ficando abaixo do limite mínimo exigido. Mais uma vez se pensa que o tratamento por aspersão não é eficaz devido à possibilidade de não cobrir toda a superfície da peça, ou então por a concentração dos produtos não ser a mais indicada para este tipo de peças, apesar de estar dentro dos parâmetros indicados pelo fornecedor para a produção diária.

Tabela 40 - Resultado da análise dos banhos realizada previamente ao estudo da perda de massa das membranas tratadas por imersão na linha 2

Banho	Parâmetros	Intervalo de Trabalho	Análise
Desengorduramento	Alcalinidade Livre (pts)	10 - 15	10,5
Lavagem com água desmineralizada	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 50	49,2
Rampa Final com água desmineralizada	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 20	19,2

Tabela 41 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por imersão.

Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área da peça (m ²)	Perda de Massa (g/m ²)	Perda de Massa Média (g/m ²)
3,1094	3,1092	0,0013	0,1538	0,2308 ± 0,1538
3,1098	3,1096		0,1538	
3,1118	3,1115		0,2308	
3,1122	3,1120		0,1538	
3,1119	3,1116		0,2308	
3,1120	3,1118		0,1538	
3,1105	3,1100		0,3846	
3,1112	3,1109		0,2308	
3,1042	3,1038		0,3077	
3,1133	3,1130		0,2308	
3,1075	3,1071		0,3077	

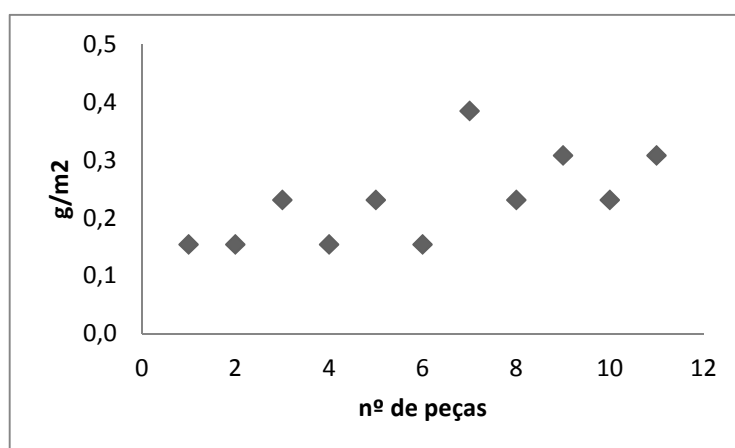


Figura 50 - Valores de perda de massa das membranas tratadas no túnel de pré-tratamento da linha 2 por imersão.

No tratamento por imersão na linha 2 também se obtiveram valores de perda de massa muito baixos. Este facto pode dever-se a só existir um estágio de desgorduramento ao invés dos estágios de desgorduramento e de desoxidação, como existem nas outras linhas. Outro facto muito importante que também pode ter ditado este resultado, foi o facto de o parâmetro de controlo do banho de desgorduramento, ou seja, a alcalinidade livre, estar no limite mínimo do intervalo de trabalho indicado pelo fornecedor para a produção diária.

Sintetizando todos os estudos realizados, pode-se concluir que os únicos pré-tratamentos que respeitam a exigência da perda de massa são os da linha de desgorduramento/desoxidação e o da linha 1 por imersão. Verifica-se que os provetes de alumínio apresentam comportamentos bastante diferentes dos das membranas e que as próprias membranas apresentam comportamentos muito diferentes entre si. Em relação aos tratamentos das linhas 4 e 2, ter-se-ia que fazer estudos de concentrações dos banhos e de tempos de linha. No entanto, seria mais vantajoso estudar o tratamento na linha 4, baixando as concentrações dos banhos, em vez de as subir na linha 2, pois isso implicaria maiores gastos e custos em relação aos produtos químicos dos banhos.

É importante salientar que as condições dos banhos da linha de desgorduramento/desoxidação são mais favoráveis, visto que é uma linha onde é tratado um número limitado de peças e a dimensão/volume dos banhos é muito reduzida. Em relação às linhas 1,2 e 4, são tratados muitos tipos de peças, os banhos são de elevadas dimensões e volumes, e o mais importante, é que existem grandes probabilidades de contaminação dos mesmos.

5.5. Ensaios de envelhecimento acelerado

5.5.1. Resistência à condensação e humidade constante

Nenhuma das peças sujeitas ao ensaio de resistência à condensação e humidade constante apresentou alterações ao nível da superfície.

Analisando a tabela 42, verifica-se que as todas as peças apresentaram resultados positivos, ou seja, não apresentaram qualquer alteração na superfície do revestimento. Estes resultados só eram previstos para as peças que possuíam alguma camada de conversão (esquemas 1, 3, 5, 7, 9,11, 13 e 15), visto serem as camadas de conversão que oferecem o tratamento anti-corrosivo e promovem a aderência entre o substrato e o revestimento.

Verifica-se que para os esquemas que apresentavam duas camadas de conversão (silanos e fosfato ou passivante e fosfato), as peças não exibiram alterações na

superfície, no entanto, apresentaram os piores resultados no ensaio de aderência pelo método da quadrícula (tabela 14). Esta falta de aderência pode ser devida a uma incompatibilidade entre as camadas de conversão que provoca instabilidade entre as forças de adesão entre o substrato e o revestimento e a posterior ruptura dessas mesmas ligações.

Assim, pode concluir-se que este ensaio de envelhecimento acelerado, com a duração de 96 horas não foi suficientemente agressivo para provocar alterações na superfície (empolamentos ou corrosão), apesar de poder levar à ruptura das forças de aderência entre o substrato e o revestimento, como se pode comprovar pelos resultados do ensaio de aderência pelo método da quadrícula apresentados na tabela 14.

5.5.2. Resistência ao nevoeiro salino

Os resultados apresentados na tabela 43 permitem verificar a ocorrência de alterações ao longo da pintura cataforética como o grau de corrosão a partir do corte efectuado nas peças em estudo, quando expostas na câmara de resistência ao nevoeiro salino durante 96 horas. Decidiu-se sublinhar os resultados que respeitam as especificações exigidas pelo cliente.

Tabela 42 - Análise do revestimento após 96 horas de exposição em câmara de nevoeiro salino.

Esquema	Resistência ao nevoeiro salino
1	<u>Sem alterações da superfície (ausência de corrosão, infiltrações e empolamentos);</u> <u>$W_b = 0 \text{ mm}$</u>
2	<u>Sem alterações da superfície (ausência de corrosão, infiltrações e empolamentos);</u> <u>$W_b = 0 \text{ mm}$</u>
3	Ausência de empolamentos. $W_b = 0,375 \text{ mm}$.
4	Ausência de empolamentos. $W_b = 0,375 \text{ mm}$.
5	<u>Sem alterações da superfície (ausência de corrosão, infiltrações e empolamentos);</u> <u>$W_b = 0 \text{ mm}$</u>

Esquema	Resistência ao nevoeiro salino
6	Ausência de empolamentos. $W_b = 1,250$ mm.
7	<u>Sem alterações da superfície (ausência de corrosão, infiltrações e empolamentos);</u> <u>$W_b = 0$ mm</u>
8	Ausência de empolamentos. $W_b = 0,375$ mm.
9	Ausência de empolamentos. $W_b = 0,250$ mm.
10	Ausência de empolamentos. $W_b = 1,250$ mm.
11	Ausência de corrosão e infiltrações. Empolamentos junto à linha de corte (m_1/g_2); $W_b = 0$ mm
12	Ausência de empolamentos. $W_b = 0,250$ mm.
13	<u>Sem alterações da superfície (ausência de corrosão, infiltrações e empolamentos);</u> <u>$W_b = 0$ mm</u>
14	<u>Sem alterações da superfície (ausência de corrosão, infiltrações e empolamentos);</u> <u>$W_b = 0$ mm</u>
15	<u>Ausência de empolamentos. $W_b = 1,250$ mm.</u>
16	<u>Sem alterações da superfície (ausência de corrosão, infiltrações e empolamentos);</u> <u>$W_b = 0$ mm</u>

Com este ensaio pretendeu-se verificar as alterações que possam ocorrer no revestimento, mas também o grau de avanço da corrosão verificado a partir de uma zona acidentada (corte) na superfície. Esta zona fica sujeita a condições de condensação contínua, assim como, à acumulação de iões cloreto. Normalmente, a corrosão é iniciada no corte e progride paralelamente até às extremidades da peça, no entanto a velocidade de corrosão pode ser diferente para cada tipo/geometria de peça.

Analisando a tabela 43, verifica-se que os esquemas para os quais não se obteve qualquer tipo de alteração na superfície foram os 1, 2, 5, 7, 13, 14 e 16. Seria de esperar que com os esquemas 2, 14 e 16 se obtivessem piores resultados, uma vez que as peças não receberam qualquer tipo de camada anti-corrosiva e no caso do esquema 16, qualquer tipo de pré-tratamento, factor muito importante para que haja uma boa adesão do revestimento. Neste ensaio também se verifica que a melhor forma de tratar as peças

é por imersão e que as peças que possuem duas camadas de conversão não obtêm bons resultados.

Fazendo a correlação com os resultados obtidos no ensaio de resistência à condensação e humidade constante, verifica-se que à excepção dos esquemas 5, 7, 8 e 12, todos os outros esquemas que apresentaram bons resultados no ensaio de resistência à condensação e humidade constante e também no ensaio de resistência ao nevoeiro salino.

5.5.3. Resistência ao ensaio fervente

O teste de resistência ao ensaio fervente é um ensaio mais agressivo do que os ensaios de resistência ao nevoeiro salino (96 horas) e de resistência à condensação e humidade constante (96 horas). No entanto, nenhuma das peças nos diferentes esquemas sujeitas ao ensaio de resistência à condensação e humidade constante apresentaram alterações ao nível da superfície, o que não era esperado. Em relação aos ensaios de aderência (tabela 14), observa-se que os esquemas que apresentaram os melhores resultados foram aqueles em que as peças sofreram um pré-tratamento por imersão, ou seja, os esquemas 2, 6, 9 10, 13, 14 e 15. Verificou-se também que os esquemas que incluem duas camadas de conversão são os que apresentam os piores resultados

6. Estudo Ambiental

A tecnologia limpa pode ser definida como o conjunto de métodos e técnicas que têm como objectivo a minimização dos resíduos e tem como eixo central a preservação do meio ambiente, consequentemente, adoptando normas de gestão ambiental. As matérias-primas e a energia necessária ao processamento industrial devem ser optimizadas e integradas ao ciclo produção e consumo, de forma, a minimizar o impacto ambiental. As operações, as condições operacionais e os equipamentos envolvidos devem ser gerenciados com base na gestão crítica, que visa diminuir a possibilidade de falhas e danos.^[32]

A tecnologia limpa deve ter como princípio fundamental a finalidade de proporcionar uma melhor qualidade de vida para o homem, ou seja, a tecnologia limpa deve ser sempre um direito do cidadão no presente e no futuro.^[32]

A tecnologia da electrodeposição catódica possui grandes vantagens a nível ambiental, visto que as emissões de COV's e HAP's são reduzidas; o facto de funcionar em circuito fechado evita perdas; produz menos resíduos sólidos e o risco de incêndio é bastante reduzido, pois os produtos químicos utilizados são de base aquosa.^[45,46] O mesmo não se verifica para os processos de pré-tratamento. Apesar de haver um maior cumprimento de regras a nível ambiental continuam-se a utilizar produtos perigosos para o meio ambiente e até para o homem em concentrações muito elevadas. Um exemplo disso são os hidróxidos e os fosfatos utilizados nos desgorduramentos; os ácidos sulfúrico e clorídrico nas desoxidações; os fosfatos na activação e o ácido fosfórico na fosfatação. Em relação à passivação já não se usam os compostos à base de crómio hexavalente devido à sua toxicidade, usam-se sim soluções à base de zircónio. Além de que na indústria automóvel está proibida a utilização de produtos à base de crómio.

As camadas de conversão também evoluíram a nível ambiental, isto é, se antigamente se usavam iões cromato (que provinham do crómio hexavalente) para inibir a corrosão, actualmente existem tecnologias de inibição de corrosão amigas do ambiente, como por exemplo, a tecnologia dos silanos.

7. Estudo Económico

O orçamento para a realização deste projecto está apresentado nas tabelas 43, 44 e 45. Este orçamento está dividido em 3 partes: as peças utilizadas nos testes/ensaio, os produtos químicos referentes aos banhos de pré-tratamento das várias linhas e ao material/reagentes de laboratório gastos (por exemplo, luvas de látex). O custo dos produtos químicos dos banhos dos túneis de pré-tratamento foi agrupado por linhas, com o intuito de indicar qual a linha com maior custo de pré-tratamento.

Tabela 43 – Gastos efectuados com as membranas.

Material	Quantidade	Valor / €
Membranas de alumínio	198	38,00
Total		38,00

Tabela 44 - Gastos efectuados com o material/reagentes de laboratório.

Reagente/Material	Quantidade	Valor / €
Caixa de Luvas	1 caixa	3,50
Hidróxido de Sódio	4,240 kg	38,33
Ácido Sulfúrico	3,680 kg	0,52
Fluoreto de potássio	1,240 kg	76,41
Fenolftaleína	1,000 g	0,03
Total		118,79

Tabela 45 - Gastos dos produtos químicos para os pré-tratamentos de cada linha.

Linha	Valor / €
1	1415,99
2	1272,42
4	2397,50
Cataforese	11025,18
Desengorduramento/desoxidação	64,62

8. Conclusões

A partir dos resultados obtidos nos vários ensaios de caracterização do revestimento aplicado nos provetes de alumínio e nas membranas de alumínio é possível concluir que:

- Nos ensaios de perda de massa, os provetes de alumínio e as membranas apresentam comportamentos muito diferentes entre si.
- As membranas de alumínio não se comportam todas da mesma forma, havendo grandes diferenças entre si.
- Os valores ideais dos tempos de estágio dos banhos de desgorduramento e de desoxidação da linha de desgorduramento/desoxidação são 10 e 3 minutos respectivamente.
- O melhor método de tratamento das membranas é por imersão
- A aplicação de duas camadas de conversão origina maus resultados, comprovados na caracterização do revestimento.
- A obtenção de uma película sem defeitos é fundamental para garantir a impermeabilidade do revestimento. As zonas com defeitos permitem que os agentes corrosivos atinjam o substrato mais facilmente.
- Os esquemas que reuniram as melhores condições para o pré-tratamento químico foram os 2, 14 e 16.
- Em termos económicos, o esquema escolhido é o esquema 2, uma vez que implica uma menor quantidade de produtos na preparação dos banhos.

9. Referências Bibliográficas

1. Caetano Coatings SA. (http://www.caetanocoatings.pt/flash_content, acedido em 29 de Novembro de 2010)
2. Davis, J.R. *Corrosion – Understanding the Basics*. ASM International, Estados Unidos da América, 2000
3. Nunes, V.M.B. *Electroquímica e Corrosão*. 2003 (<http://ccmm.fc.ul.pt/vnunes/ensino/corrosao.pdf>, acedido em 21 de Dezembro de 2010)
4. Silva, S.D. *Informações técnicas sobre tintas líquidas – Pintura industrial e manutenção anticorrosiva*. Tintas WEG. Janeiro 2009. (<http://www.weg.net/files/products/WEG-pintura-industrial-com-tintas-liquidadas-manual-portugues-br.pdf>, acedido em 26 de Novembro de 2010)
5. *Corrosão – Abordagem Geral* (http://pt.scribd.com/doc/57249726/384_CORROSAO-ABORDAGEM-Geral, acedido em 29 de Novembro de 2010)
6. Ailton - *Corrosão*. (<http://xa.yimg.com/kq/groups/21784460/905781708/name/CORROSAO.pdf>, acedido a 10 de Janeiro de 2011)
7. Almeida, M.E.M. *Guia sob Protecção Anticorrosiva na Indústria Automóvel*. PROTAP/INETI. Lisboa, 2000
8. Marques, J.P.S.P. *Optimização dos parâmetros operacionais de uma linha de cataforese - Relatório de Estágio Profissionalizante da Licenciatura em Química Tecnológica*. Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 2006
9. Carvalho, R.G., Filho, T.S.G., Silva, C.L.M. *Alumínio Fundido e Ferro Fundido. O que usar?* II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica João Pessoa – PB – 2007
10. Silva, G.M.M.C. *Metais e Ligas Metálicas, Uma abordagem experimental no secundário – Tese de Mestrado em Química para o Ensino*. Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. 2007
11. Schweitzer, P.A. *Paint and Coatings – Applications and Corrosion Resistance*. CRC Press, Estados Unidos da América, 2006

12. Dössel, K., Streitberger, H. *Automotive Paints and Coatings*. VCH. 1995
13. Nunes, S.R.A. *Optimização dos parâmetros de uma linha de lacagem auto – Relatório de Estágio Profissionalizante da Licenciatura em Química Tecnológica*. Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 2004
14. Narayanan, T.S.N.S. *Surface Pretreatment by Phosphate Conversion Coatings – A Review*. Rev. Adv. Mater. Sci. 9 (2005) 130-177
15. Costa, M.V. *Revestimentos de Conversão – Fosfatização, Cromatização, Anodização*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
16. Alves, P., Nunes, S., Pereira, I. *Pré-tratamento à base de silanos para substratos em aço inoxidável a utilizar na indústria automóvel*. Corros. Prot. Mater., Vol 27 N°2 (2008)
17. Lamar, J.A., Ooij, W.J., Palanivel, V., Stacy, M. *Potencial of Silanes for Chromate Replacement in Metal Finishing Industries*. Department of Materials Science and Engineering of the University of Cincinnati, Ohio. Setembro de 2002
18. Duarte, R.G., Ferreira, M.G.S., Montemor, M.F., Simões, A.M.P. *Silanes and rare earth salts as chromate replacers for pre-treatments on galvanized steel*. Electrochimica Acta 49 (2004) 2927-2935
19. Capiotto, N. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Química - Uso do Silano BTSE como protetivo contra a corrosão de laminados de aço carbono*. Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.
20. Bossardi, K., Scienza, L.C. *Tratamentos com Silano na Proteção à Corrosão do Alumínio*. XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica.
21. Brochura XIAMETER from Dow Corning – *A Guide to Silane Solutions – Mineral and Filler Treatment*. 2009
22. Talbert, R. *Paint Technology Handbook*. CRC Press. 2008
23. Weldon, D.G. *Failure Analysis of Paints and Coatings*. Wiley. 2009
24. Mittal, K.L. *Adhesion Measurement of Thin Films*. Electrocomponent Science and Technology, 1976, Vol. 3, pp.21-42
25. Ebnesajjad, S. *Adhesives Technology Handbook*. 2ª Edição, William Andrew Inc. USA. 2008.

26. Holmberg, K., Matthews, A. *Coatings Tribology – Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. 2ª Edição. Elsevier. 2009

27. *Características do processo de e-coating*
(<http://www.metokote.com/portuguese/tecnologiasderevestimentos/CaracteristicasDoProcessoDeE-Coating.asp>, acedido em 14 de Março de 2011)

28. *Electrocoatings Basics*
(<http://www.ppg.com/coatings/electrocoat/process/Pages/default.aspx>, acedido em 28 de Março de 2011)

29. *Electrocoat – Características*
(<http://www.ppgbrasil.com.br/industrial/br/produtos/eletrocoat/eletrocoat-chars.html>, acedido em 28 de Março de 2011)

30. *Science Automotive – What is Electrocoat?*
(http://www2.dupont.com/Automotive/en_US/science_of/Electrocoat/whatiselectrocoat/whatisElectrocoat.html, acedido em 28 de Março de 2011)

31. Carreira, D., Ramos, J. *Protecção Anticorrosiva na Indústria Automóvel*. Departamento de Engenharia de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro. Maio de 2008

32. Mainier, F.B., Villas, M.R.A. *Processo de deposição de tintas catódicas por eletroforese e suas correlações com a qualidade e o meio ambiente*. II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT’2005

33. *Science of Automotive – History of Electrocoat*
(http://www2.dupont.com/Automotive/en_US/science_of/Electrocoat/whatiselectrocoat/historyElectrocoat.html, acedido em 28 de Março de 2011)

34. *Como o E-coat trabalha*
(<http://www.ppgbrasil.com.br/industrial/br/produtos/eletrocoat/eletrocoat-app.html>, acedido em 28 de Março de 2011)

35. *Science of Automotive – Advantages of Electrocoat*
(http://www2.dupont.com/Automotive/en_US/science_of/Electrocoat/whatiselectrocoat/advantagesElectrocoat.html, acedido em 28 de Março de 2011)

36. Coelho, P. *Instituto Português da Qualidade – Associação Portuguesa de Manutenção Industrial – Dia Mundial da Normalização – 14 de Outubro de 2008*.

37. *Manual de Normalização 2009*. Instituto Português da Qualidade. 2009
38. Almacinha, J.A. *Introdução ao Conceito de Normalização em Geral e a sua Importância na Engenharia*. (<http://www.inegi.pt/instituicao/ons/pdf/JASA-1.PDF>, acedido em 15 de Fevereiro de 2011)
39. GME 00202 – *Powder Coat Finish*
40. DIN EN ISO 2409 – *Paints and Varnishes – Cross-cut Test*
41. DIN 50 939 – *Corrosion protection – Chromating of aluminium – Principles and methods of test*
42. DIN 53209 - *Designation of degree of blistering of paints*
43. DIN EN ISO 9227 – *Corrosion test in artificial atmospheres – Salt Spray Tests*
44. *Qualicoat – Specifications for a quality label for paint, lacquer and powder coatings on aluminum for architectural applications*. 11ª Edição. 2006
45. Apresentação PPG – *Curso de Electrodeposição*. Formação de Electrodeposição. Marly, França. 28 a 30 de Junho 2010.
46. Apontamentos – *Curso de Electrodeposição*. Marly, França. 28 a 30 de Junho 2010.

Anexo I

Instrumentos de trabalho

Optimização dos parâmetros da linha de desengorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de estacionamento – Mestrado em Química Tecnológica



Figura 51 – Medidor de espessuras Elcometer® 355 com uma sonda Elcometer® T5511982 acoplada.



Figura 52 – Banho termostático P>Selecta Tectron 200.



Figura 53 – Câmara de nevoeiro salino Erichsen modelo 606/100.

Optimização dos parâmetros da linha de desgorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de estacionamento – Mestrado em Química Tecnológica



Figura 54 – Câmara de condensação constante Erichsen Hygrotherm 519.



Figura 55 – Fita adesiva 3M Scotch 2525.



Figura 56 - Conjunto escantilhão/x-acto TQC – Thermimpart Quality Control.

Optimização dos parâmetros da linha de desgorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de estacionamento – Mestrado em Química Tecnológica



Figura 57 – Medidor de Condutividade EcoScan CON5.

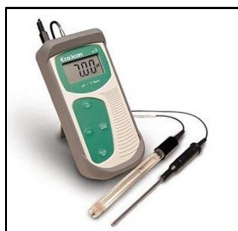


Figura 58 – Medidor de pH EcoScan pH 5.



Figura 59 – Balança analítica Kern ALJ 220-4M com 4 casas decimais.



Figura 60 – Lupa de ampliação 10x / 38D Eschenbach – Elcometer®.

Optimização dos parâmetros da linha de desengorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de estacionamento – Mestrado em Química Tecnológica



Figura 61 – Padrões de espessura Elcometer® certificados.

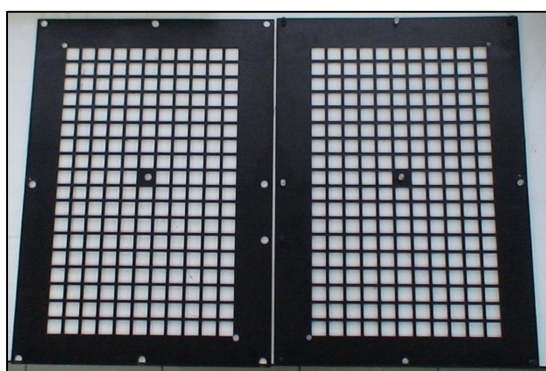


Figura 62- Bastidor utilizado para o desengorduramento/desoxidação das membranas de alumínio.

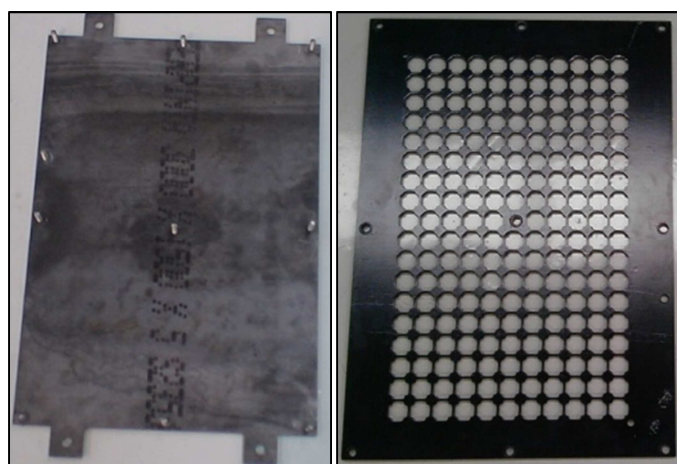


Figura 63 – Bastidor utilizado para a pintura das membranas de alumínio por cataforese.

Anexo II

Métodos de trabalho internos

1.Determinação da concentração do banho de desengorduramento

1.1. Material utilizado

Bureta automática; Erlenmeyer de 300 mL; Conta gotas; Pipeta volumétrica de 10mL

1.2. Reagentes

Ácido Sulfúrico (Ampola Tritisol de 0,5 M - Fixanal – Fluka® Analytical)

1.3. Aparelhagem

Aparelho medidor de pH EcoScan pH 5

1.4. Procedimento Experimental

1.4.1. Determinação da concentração do banho de desengorduramento

1. Homogeneizar bem o banho e retirar uma amostra;
2. Homogeneizar bem o banho e retirar uma amostra;
3. Pipetar 100 mL da amostra para o erlenmeyer;
4. Adicionar 50 mL de água desmineralizada;
5. Titular com ácido sulfúrico 0,1 mol/L, utilizando um aparelho de pH até se atingir o valor de pH=7, durante a titulação manter a agitação contínua;

A= mL de H₂SO₄ 0,1 mol/L consumidos na titulação´

1.5. Apresentação dos Resultados

$\text{Concentração (g/L)} = A \times 3,9$
--

2. Determinação da concentração do banho de desoxidação e da concentração de alumínio no banho de desoxidação

2.1. Material utilizado

Bureta automática; Erlenmeyer de 300 mL; Conta-gotas; Pipeta volumétrica de 10 mL

2.2. Reagentes

Hidróxido de sódio (Scharlau® 0,1 mol/L); Solução indicadora de fenolftaleína 1% em etanol (Scharlau®); Solução de fluoreto de potássio 33% (Scharlau®)

2.3. Procedimento Experimental

2.3.1. Determinação da concentração do banho de desoxidação

1. Homogeneizar bem o banho e retirar uma amostra;
2. Pipetar 25 mL da amostra para o erlenmeyer de 300 mL;
3. Adicionar 100 mL de água desmineralizada;
4. Adicionar 4 a 6 gotas de solução indicadora de fenolftaleína;
5. Adicionar 10 mL de fluoreto de potássio 33% e agitar;
6. Titular com hidróxido de sódio 0,1 mol/L, até viragem a cor-de-rosa.

A = mL de NaOH 0,1mol/L consumidos na titulação

2.3.2. Determinação do alumínio dissolvido

1. Homogeneizar bem o banho e retirar uma amostra;
2. Pipetar 25 mL da amostra para o erlenmeyer de 300 mL;
3. Adicionar 25 mL de água desmineralizada;
4. Adicionar 4 a 6 gotas de solução indicadora de fenolftaleína;
5. Titular com hidróxido de sódio 0,1 mol/L até viragem a cor-de-rosa;
6. Registar o volume de hidróxido de sódio 0,1 mol/L gasto na titulação (V).

B= mL de NaOH 0,1 mol/L consumidos na titulação

2.4. Apresentação dos Resultados

$$\text{Concentração (g/L)} = A \times 5,0$$

$$\text{Alumínio Dissolvido (g/L)} = (B-A) \times 0,9$$

Anexo III

Curva de temperatura do forno de polimerização da cataforese

Optimização dos parâmetros da linha de desengorduramento/desoxidação de membranas de alumínio para sensores de estacionamento – Mestrado em Química Tecnológica

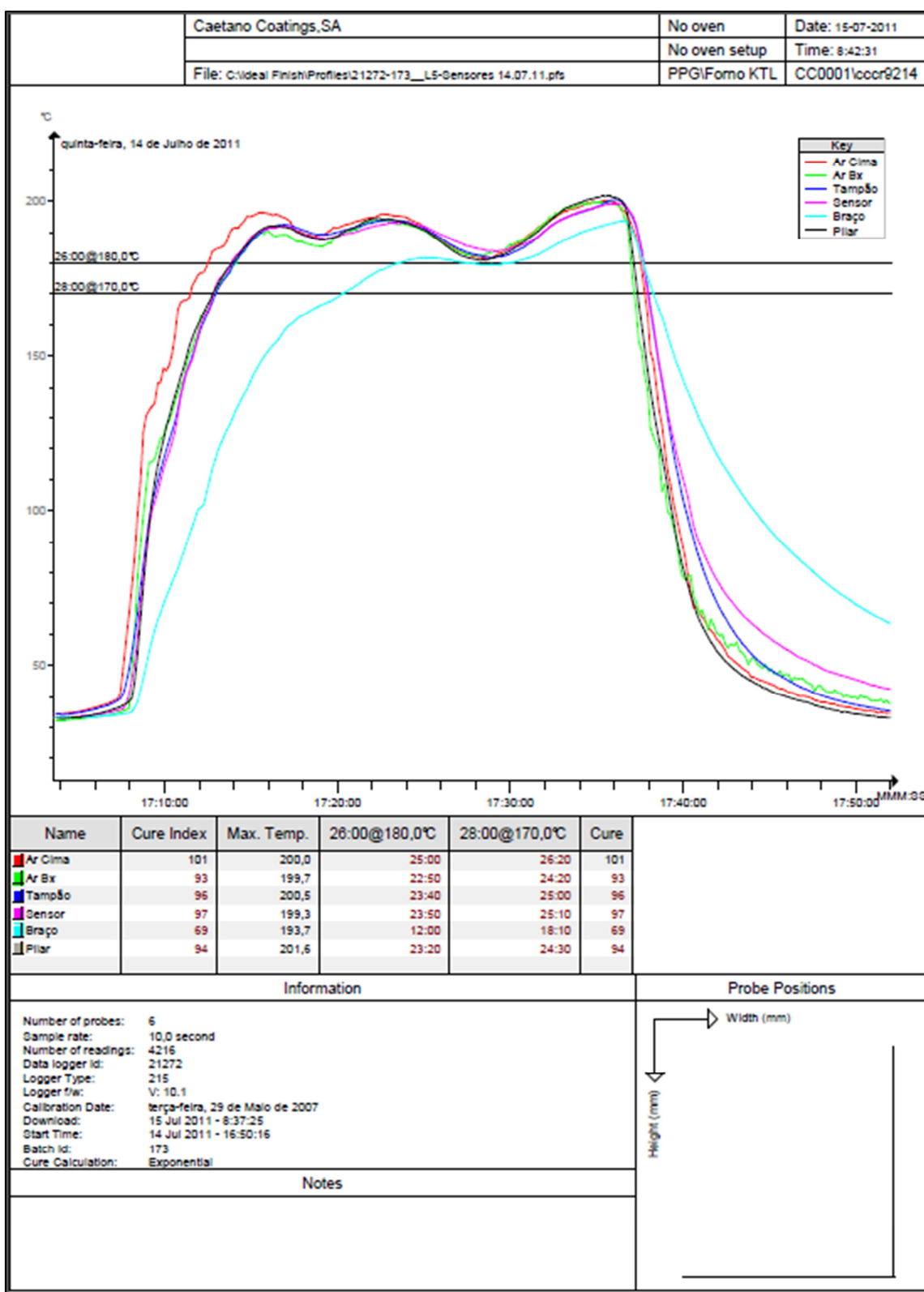


Figura 64 – Curva de temperatura do forno de polymerização da cataforese efectuada no dia 14 de Julho de 11.

Anexo IV

Características dos produtos utilizados

Todos os produtos químicos dos banhos da linha de desgorduramento/desoxidação são da Shintaro e os do pré-tratamento das linhas 1, 2, 4 e cataforese são fornecidos pela Chemetall.

Linha de desgorduramento/desoxidação

Produto A1 - Desgorduramento

- Descrição

Desgordurante líquido fracamente alcalino e fracamente emulsionante para alumínio e suas ligas, de baixo poder espumante, indicado para aplicação por imersão.

- Símbolo de perigo

Xn – Nocivo; Xi – Irritante

- Frases de Risco e Segurança

R36, R20, R22, R36, R38, R41

S25, S26

- Características físico-químicas

Densidade: 1,1 g/cm³

Aspecto: líquido

Cor: amarelado

Odor: fraco

Solubilidade em água: miscível

pH: 8,0-9,0

- Composição

Álcool secundário etoxilado, C11-15 – Símbolo de perigo: Xn – Nocivo; Xi - Irritante

- R20, R38, R41

Alquil amina de coco etoxilada – Símbolo de perigo: Xn – Nocivo

- R22, R36

Pirofosfato tetrasódico

Tetraborato disódico decahidratado

- Manuseamento e armazenamento

Não são exigidas medidas especiais, se manuseado e armazenado conforme prescrito. Providenciar uma boa ventilação na área de trabalho (ventilação de exaustão local, se necessário). Evitar o contacto com a pele e os olhos. As embalagens abertas devem ser cuidadosamente mantidas na vertical, para impedir o derramamento. Proteger do gelo.

Produto A2 - Desoxidação

- Descrição

Processo ácido especialmente indicado para a desoxidação do alumínio e suas ligas.

- Símbolo de perigo

T – Tóxico

- Frases de Risco e Segurança

R26/27/28, R34, R35

S7/9, S26, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,2 g/cm³

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: ligeiramente ácido

Solubilidade em água: miscível

pH: <1,0

- Composição

Ácido fosfórico – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R34

Ácido sulfúrico – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R35

Ácido fluorídrico – Símbolo de perigo: C – Corrosivo; T – Tóxico

- R26/27/28, R35

- Manuseamento e armazenamento

As embalagens abertas devem ser cuidadosamente mantidas na vertical, para impedir o derramamento. Manter as embalagens bem fechadas, em lugar seco, fresco e bem ventilado. Proteger do gelo. Evitar o contacto com a pele, olhos e a roupa.

Linha de pintura líquida – Linha 4

Produto B1 – Pré-desengorduramento, desengorduramento e desoxidação

- Descrição

É um produto líquido, concebido para o desengorduramento / desoxidação do alumínio, por aspersão.

- Características físico-químicas

Densidade: 1,140 g/cm³

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Produto B2 – Pré-desengorduramento e desengorduramento

- Descrição

É um produto líquido à base de uma mistura de tensoactivos. É aplicado como aditivo potenciador de desgorduramento, na limpeza de superfícies de aço, aço zincado e alumínio.

- Símbolo de perigo

Xn - Nocivo

- Frases de Risco e Segurança

R22, R36/38, R38, R41

S26, S37/39, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,020 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: amarelo

Odor: aromático

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 8,1-9,1 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Alquil alcoxilato mod. – Símbolo de perigo: Xn - Nocivo

- R22, R38, R41

Octanoato de sódio – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto B3 – Silanos

- Descrição

É um produto líquido, concebido como aditivo para banhos de cromatação e de fosfatação, para aumentar a concentração em flúor.

- Símbolo de perigo

T – Tóxico, C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R20/21, R25, R34

S26, S37/39, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,08-1,12 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: picante

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 4,6-5,6 a 10 g/L a 20 °C (concentrado)

- Composição

Fluoreto de amónio – Símbolo de perigo: T - Tóxico

- R23/24/25

Hydrogenodifluoreto de amónio – Símbolo de perigo: T – Tóxico, C - Corrosivo

- R25, R34

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de

vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Produto B4 – Silanos

- Frases de Risco e Segurança

R8, R22, R34

- Características físico-químicas

Densidade: 1,07-1,11 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: rosado

Odor: aromático

Solubilidade em água: completamente solúvel

pH: 1,0-2,1 a 60 g/L

- Composição

Ácido hexafluorozircónico – Símbolo de perigo: Xn – Nocivo, C - Corrosivo

- R22, R34

Dinitrato de manganês – Símbolo de perigo: O - Comburente

- R8

- Manuseamento e armazenamento

Disponer de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar o contacto com os olhos. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto B5 – Silanos

- Símbolo de perigo

Xn - Nocivo

- Frases de Risco e Segurança

R11, R23/24/25, R36/38, R39/23/24/26, R43

- Características físico-químicas

Densidade: 0,98-1,02 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: característico

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 10,0-11,0 a 20 °C

- Composição

Compostos orgânicos de silicone – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38, R43

Metanol – Símbolo de perigo: F – Inflamável, T – Tóxico

- R11, R23/24/25, R39/23/24/25

- Manuseamento e armazenamento

Disponer de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores / aerossol. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas, em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto B6 – Silanos

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R35

S26, S36/37/39, S45, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,08-1,12 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: inodoro

Solubilidade em água: completamente solúvel

pH: 11,8-12,8 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Hidróxido de sódio – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R35

- Manuseamento e armazenamento

Ter disponível uma garrafa de líquido para enxaguar os olhos. Evitar o contacto com os olhos. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas, em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto B7 – Silanos

- Símbolo de perigo

O – comburente; C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R8, R35

- Características físico-químicas

Densidade: 1,01-1,05 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Solubilidade em água: completamente solúvel

pH: 1,8-2,8 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Ácido nítrico – Símbolo de perigo: O – Comburente; C - Corrosivo

- R8, R35

- Manuseamento e armazenamento

Ter disponível uma garrafa de líquido para enxaguar os olhos. Evitar o contacto com os olhos. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas, em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto B8 – Silanos

- Descrição

É um produto líquido, concebido como aditivo para banhos de cromatação e fosfatação, para aumento da concentração em flúor.

- Símbolo de perigo

Xn – Nocivo, T+ - Muito tóxico

- Frases de Risco e Segurança

R26/27/28

S23, S26, S27, S28, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,05-1,09 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: picante

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 1,5-2,5 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Ácido Fluorídrico – Símbolo de perigo: T+- Muito tóxico; C - Corrosivo
- R35

- Manuseamento e armazenamento

Proporcionar arejamento suficiente e/ou sistema exaustor nos locais de trabalho. Manusear e abrir o recipiente com cuidado. Manter pronto no sítio de trabalho um frasco para a lavagem dos olhos ou um lava-olhos. Evitar a formação de aerossol. Guardar o recipiente hermeticamente fechado em lugar seco e bem ventilado.

Linha de pintura a pó – L2

Produto C1 – Pré-desengorduramento e desengorduramento

- Descrição

É um produto líquido, desengordurante fortemente alcalino, à base de boratos e isento de silicatos

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R35

S24/25, S26, S36/37/39, S45, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,44-1,48 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor a amarelado

Odor: característico

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 11,8-12,8 a 10 g/L a 20 °C

Condutividade eléctrica: 7,8 mS/cm a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Hidróxido de potássio – Símbolo de perigo: Xn - Nocivo; C - Corrosivo

- R35, R22

Ortofosfato de tripotássio – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/37/38

- Manuseamento e armazenamento

Proporcionar arejamento suficiente e/ou sistema exaustor nos locais de trabalho. Manusear e abrir o recipiente com cuidado. Manter pronto no sítio de trabalho um frasco para a lavagem dos olhos ou um lava-olhos. Evitar a formação de aerossol. Guardar o recipiente hermeticamente fechado em lugar seco e bem ventilado.

Produto C2 – Pré-desengorduramento e desengorduramento

- Descrição

É um produto líquido à base de uma mistura de tensoactivos. É aplicado como aditivo potenciador de desengorduramento, na limpeza de superfícies de aço, aço zincado e alumínio.

- Símbolo de perigo

Xn - Nocivo

- Frases de Risco e Segurança

R22, R36/38, R38, R41

S26, S37/39, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,020 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: amarelo

Odor: aromático

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 8,1-9,1 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Alquil alcoxilato mod. – Símbolo de perigo: Xn - Nocivo

- R22, R38, R41

Octanoato de sódio – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto C3 – Passivação

- Descrição

É um produto líquido concebido para o pré-tratamento de substratos ferrosos, alumínio e materiais de zinco.

- Características físico-químicas

Densidade: 1,02 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

pH: 3,1 a 30 g/L a 20 °C

Produto C4– Passivação

- Símbolo de perigo

C- Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R34

S26, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,55-1,59 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: não significativo

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: <1,0 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Ácido fosfórico – Símbolo de perigo: C – Corrosivo

- R34

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto C5– Passivação

- Frases de Risco e Segurança

R22

- Características físico-químicas

Densidade: 1,02-1,06 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: característico

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 7,6-8,6 a 20 °C

- Composição

Hidrogenocarbonato de amónio – Símbolo de perigo: Xn - Nocivo

- R22

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto C6 – Passivação

- Descrição

É um produto líquido, concebido como aditivo para banhos de cromatação e de fosfatação, para aumentar a concentração em flúor.

- Símbolo de perigo

T – Tóxico, C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R20/21, R25, R34

S26, S37/39, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,08-1,12 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: picante

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 4,6-5,6 a 10 g/L a 20 °C (concentrado)

- Composição

Fluoreto de amónio – Símbolo de perigo: T - Tóxico

- R23/24/25

Hidrogenodifluoreto de amónio – Símbolo de perigo: T – Tóxico, C - Corrosivo

- R25, R34

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Linha de cataforese

Produto D1 – Pré-desengorduramento e desengorduramento

- Descrição

É um produto líquido, alcalino, concebido para o desengorduramento de superfícies metálicas.

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R22, R35

S26, S36/37/39, S45, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,40-1,44 g/cm³

Aspecto: líquido

Cor: amarelo claro

Odor: muito fraco

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 12,4-13,4 a 10 g/L

- Composição

Hidróxido de potássio – Símbolo de perigo: Xn – Nocivo, C - Corrosivo

- R22, R35

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Produto D2 – Pré-desengorduramento e desengorduramento

- Descrição

É um produto líquido à base de uma mistura de tensoactivos. É aplicado como aditivo potenciador de desengorduramento, na limpeza de superfícies de aço, aço zincado e alumínio.

- Símbolo de perigo

Xn - Nocivo

- Frases de Risco e Segurança

R22, R36/38, R38, R41

S26, S37/39, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,020 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: amarelo

Odor: aromático

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 8,1-9,1 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Alquil alcoxilato mod. – Símbolo de perigo: Xn - Nocivo

- R22, R38, R41

Octanoato de sódio – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D3 – Activação

- Descrição

É um produto sólido, para activação de superfícies metálicas antes de fosfatação ao zinco.

- Frases de Risco e Segurança

R36/38

- Características físico-químicas

Densidade da massa: aprox. 800 kg/m³ a 20 °C

Aspecto: pó

Cor: branco

Odor: inodoro

Solubilidade em água: solúvel

pH: 8,1-9,1 a 10 g/L

- Composição

Ortofosfato de trissódico – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D4 – Activação

- Descrição

É um produto líquido, alcalino, geralmente usado em processos de fosfatação, como corrector de acidez.

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R35

S26, S27, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,25-1,29 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: muito fraco

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 12-13 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Hidróxido de sódio – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R35

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D5 – Fosfatação

- Símbolo de perigo

Xn – Nocivo; N – Nocivo para o meio ambiente

- Frases de Risco e Segurança

R8, R22, R34, R40, R42/43, R50/53, R51/53

S36/37, S45, S57, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,35-1,39 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: verde

Odor: inodoro

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 2,0-3,0 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Bis (dihidrogenofosfato) de zinco – Símbolo de perigo: N – Nocivo para o meio ambiente

- R50/53

Ácido fosfórico – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R34

Nitrato de níquel (III) – Símbolo de perigo: O – Comburente, Xn – Nocivo, N – Perigoso para o meio ambiente.

- R8, R22, R40, R43, R42, R50/53

Bis (dihidrogenofosfato) de manganês

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D6 – Fosfatação

- Símbolo de perigo

Xn – Nocivo; N – Nocivo para o meio ambiente

- Frases de Risco e Segurança

R22, R34, R40, R42/43, R50, R50/53, R53

S36/37, S45, S57, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,48-1,52 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: verde

Odor: inodoro

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 2,0-3,0 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Bis (dihidrogenofosfato) de zinco – Símbolo de perigo: N – Nocivo para o meio ambiente

- R50/53

Bis (dihidrogenofosfato) de manganês

Ácido fosfórico – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R34

Fosfato de níquel (III) – Símbolo de perigo: Xn – Nocivo

- R22

Hexafluorosilicato de zinco – Símbolo de perigo: Xn – Nocivo; N – Nocivo para o meio ambiente

- R22, R50, R53

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D7 – Fosfatação

- Características físico-químicas

Densidade: 1,30-1,34 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: inodoro

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 6,5-7,5 a 10 g/L a 20 °C

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D8 – Fosfatação

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R8, R34

S26, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,20-1,24 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: castanho-escuro

Odor: não significativo

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 1,8-2,8 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Nitrato férrico – Símbolo de perigo: O – Comburente; C - Corrosivo

- R8, R34

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D9 – Fosfatação

- Descrição

É um produto líquido, concebido como aditivo para banhos de cromatação e de fosfatação, para aumentar a concentração em flúor.

- Símbolo de perigo

T – Tóxico, C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R20/21, R25, R34

S26, S37/39, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,08-1,12 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: picante

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 4,6-5,6 a 10 g/L a 20 °C (concentrado)

- Composição

Fluoreto de amónio – Símbolo de perigo: T - Tóxico

- R23/24/25

Hidrogenodifluoreto de amónio – Símbolo de perigo: T – Tóxico, C - Corrosivo

- R25, R34

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Produto D10 – Fosfatação

- Descrição

É um produto líquido, alcalino, geralmente usado em processos de fosfatação, como corrector de acidez.

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R35

S26, S27, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,25-1,29 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: muito fraco

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 12-13 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Hidróxido de sódio – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R35

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D11 – Fosfatação

- Características físico-químicas

Densidade: 1,07-1,11 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: branco

Odor: perceptível

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 6,5-7,5 a 20 °C

- Manuseamento e armazenamento

Disponer de suficiente renovação de ar e / ou extracção nos locais de trabalho. Abrir e manusear o recipiente com cuidado. Manter afastado de chamas livres, de superfícies quentes e de focas de ignição. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D12 – Fosfatação

- Símbolo de perigo

T – Tóxico, C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R25, R34

S26, S35, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,36-1,40 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: branco

Odor: inodoro

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 3,0-4,0 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Bifluoreto de sódio – Símbolo de perigo: T – Tóxico; C - Corrosivo

- R25, R34

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Produto D13 – Passivação

- Descrição

É um produto passivador isento de crómio para acabamento de superfícies metálicas.

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R34

S26, S35, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,36-1,40 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: perceptível

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 1,0-2,0 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Ácido Hexafluorozircónico – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R34

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Produto D14 – Passivação

- Frases de Risco e Segurança

R23/24/25, R34, R50

- Características físico-químicas

Densidade: 0,98-1,02 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: ligeiramente picante

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 9,5-10,5 a 20 °C

- Composição

Amoníaco – Símbolo de perigo: C – Corrosivo, N – Nocivo para o ambiente

- R34, R50

Fluoreto de amónio – Símbolo de perigo: T – Tóxico

- R23/24/25

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Linha de pintura a pó – L1

Produto E1 – Pré-desengorduramento

- Descrição

É um produto de limpeza alcalino, que contém uma mistura de tensoactivos biodegradáveis.

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R22, R35

S26, S27, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,297 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: âmbar escuro

Odor: característico

Solubilidade em água: completamente miscível

pH: 12,3 a 10 g/L

- Composição

Hidróxido de potássio – Símbolo de perigo: C – Corrosivo, Xn - Nocivo

- R322, R35

Trisfosfato de pentassódio

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Produto E2 – Pré-desgorduramento e desgorduramento

- Descrição

É um produto líquido à base de uma mistura de tensoactivos. É aplicado como aditivo potenciador de desgorduramento, na limpeza de superfícies de aço, aço zincado e alumínio.

- Símbolo de perigo

Xn - Nocivo

- Frases de Risco e Segurança

R22, R36/38, R38, R41

S26, S37/39, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,020 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: amarelo

Odor: aromático

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 8,1-9,1 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Alquil alcoxilato mod. – Símbolo de perigo: Xn - Nocivo

- R22, R38, R41

Octanoato de sódio – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto E3 – Desengorduramento

- Símbolo de perigo

C- Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R22, R35, R36/38

S26, S36/37/39, S45, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,430 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: ligeiramente acastanhado

Solubilidade em água: completamente miscível

pH: 12-13 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Hidróxido de potássio – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R22, R35

Silicato de potássio – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38

Trifosfato pentassódico

- Manuseamento e armazenamento

Utilizar luvas e evitar o contacto com os olhos e a pele. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas e em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto E4 - Desoxidação

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R35

S26, S36/37/39, S45, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,08-1,12 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: inodoro

Solubilidade em água: completamente solúvel

pH: 11,8-12,8 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Hidróxido de sódio – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R35

- Manuseamento e armazenamento

Ter disponível uma garrafa de líquido para enxaguar os olhos. Evitar o contacto com os olhos. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas, em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto E5 - Desoxidação

- Descrição

É um produto líquido, concebido para o desengorduramento / desoxidação do alumínio, por aspersão.

- Características físico-químicas

Densidade: 1,140 g/cm³

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Produto E6 – Silanos

- Símbolo de perigo

Xn - Nocivo

- Frases de Risco e Segurança

R11, R23/24/25, R36/38, R39/23/24/26, R43

- Características físico-químicas

Densidade: 0,98-1,02 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: característico

Solubilidade em água: totalmente miscível

pH: 10,0-11,0 a 20 °C

- Composição

Compostos orgânicos de silicone – Símbolo de perigo: Xi - Irritante

- R36/38, R43

Metanol – Símbolo de perigo: F – Inflamável, T – Tóxico

- R11, R23/24/25, R39/23/24/25

- Manuseamento e armazenamento

Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores / aerossol. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas, em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto E7 – Silanos

- Frases de Risco e Segurança

R8, R22, R34

- Características físico-químicas

Densidade: 1,07-1,11 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: rosado

Odor: aromático

Solubilidade em água: completamente solúvel

pH: 1,0-2,1 a 60 g/L

- Composição

Ácido hexafluorozircónico – Símbolo de perigo: Xn – Nocivo, C - Corrosivo

- R22, R34

Dinitrato de manganês – Símbolo de perigo: O - Comburente

- R8

- Manuseamento e armazenamento

Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar o contacto com os olhos. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto E8 – Silanos

- Símbolo de perigo

C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R35

S26, S36/37/39, S45, S60

- Características físico-químicas

Densidade: 1,08-1,12 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: incolor

Odor: inodoro

Solubilidade em água: completamente solúvel

pH: 11,8-12,8 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Hidróxido de sódio – Símbolo de perigo: C - Corrosivo

- R35

- Manuseamento e armazenamento

Ter disponível uma garrafa de líquido para enxaguar os olhos. Evitar o contacto com os olhos. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas, em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e na embalagem de origem.

Produto D12 – Silanos

- Símbolo de perigo

T – Tóxico, C - Corrosivo

- Frases de Risco e Segurança

R25, R34

S26, S35, S36/37/39, S45

- Características físico-químicas

Densidade: 1,36-1,40 g/cm³ a 20 °C

Aspecto: líquido

Cor: branco

Odor: inodoro

Solubilidade em água: totalmente solúvel

pH: 3,0-4,0 a 10 g/L a 20 °C

- Composição

Biflureto de sódio – Símbolo de perigo: T – Tóxico; C - Corrosivo

- R25, R34

- Manuseamento e armazenamento

Manipular em local onde exista um equipamento de lava-olhos. Dispor de suficiente renovação de ar e ou extracção nos locais de trabalho. Evitar a formação de vapores. Conservar as embalagens hermeticamente fechadas em local seco e bem ventilado. Armazenar à temperatura ambiente e conservar na embalagem de origem.

Anexo V

Artigo sobre o Ano Internacional da Química

ANO INTERNACIONAL DA QUÍMICA



Ano Internacional da
QUÍMICA
2011

O Ano Internacional da Química 2011 (AIQ 2011) é uma celebração das conquistas no mundo da química e suas contribuições para o bem-estar da humanidade.

A Química é a base da vida. Toda a matéria encontrada no universo é composta pelos elementos químicos e pela sua combinação molecular, representada por gases vitais como o oxigénio e o azoto, até estruturas de enorme complexidade como o DNA e as proteínas.

A sua diversidade tem esplendor na natureza e nas inúmeras possibilidades de composição de materiais para as mais diversas aplicações, como por exemplo os medicamentos, alimentos, novos materiais, ligas metálicas e energia.

A química vai ao encontro do desafio global:

- Ar limpo
- Água despoluída
- Comida saudável
- Medicamentos fiáveis
- Materiais avançados
- Produtos amigos do ambiente
- Energia sustentável



QUÍMICA NO DIA-A-DIA

Esta é só uma pequena amostra de objectos essenciais que têm como base a química.



Já pensou como seria a sua vida se não existisse estes objectos?



QUÍMICA NA CAETANO COATINGS

Se pensa que na Caetano Coatings não existe química, engana-se. O processo de cataforese é um processo electroquímico, todos os banhos de pré-tratamento são banhos químicos, os ensaios realizados no controlo de banhos (titulações, medições de condutividade e/ou pH) são ensaios químicos, os processos de decapagem são executados com recurso a produtos químicos, o desmineralizador de água funciona através de processos químicos, os efluentes são tratados na ETARI com produtos químicos, os ensaios realizados no laboratório e até os processos de pintura líquida/pó são processos químicos.

